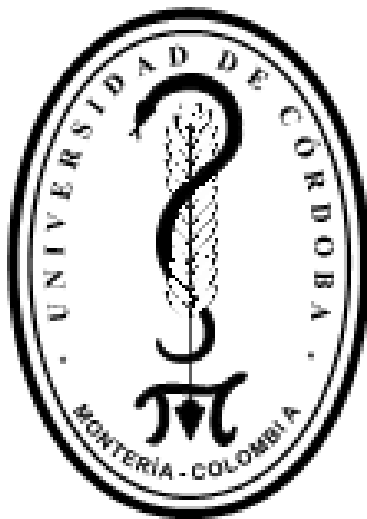


**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA  
MÁQUINA PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES EN EL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE  
CÓRDOBA.**



**EDINSON DE JESÚS HERRERA DE ORO.**

**NICOLÁS EDUARDO OTERO VÉLEZ.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**MONTERÍA, CÓRDOBA**

**2015.**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA  
MÁQUINA PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES EN EL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE  
CÓRDOBA.**

**EDINSON DE JESÚS HERRERA DE ORO.**

**NICOLÁS EDUARDO OTERO VÉLEZ.**

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad de trabajo de investigación y  
extensión, como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Mecánico.**

**Director:**

**DEMÓSTENES JOSÉ DURANGO ÁLVAREZ, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**MONTERÍA, CÓRDOBA**

**2015.**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del  
proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

**Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

**Montería, 2015.**

## **DEDICATORIA**

Principalmente dedico este triunfo al creador de la vida, a DIOS, por ser el artífice de cada uno de mis sueños, por ser mi guía, mi amigo y mi sustento. A mi amada madre Sra. Giannina de Oro Sánchez, hermanos y familiares, que son el eje de todos mis proyectos, y han sido apoyo constante en cada una de las etapas de mi vida. A mi padre Edinson Herrera Galvis, abuelos y demás amigos que hoy no están pero que dejaron plasmadas en mi vida las mejores enseñanzas. A mis amigos por ser fuente de ánimos y fortaleza en los momentos de dificultad.

### **EDINSON DE JESÚS HERRERA DE ORO**

A Dios sobre todas las cosas, como mi fiel consejero, quien me ha permitido clausurar este proyecto, regalándome salud, sabiduría y ganas de vivir. A mis padres queridos, Sr. Pablo Otero Bula y Sra. Martha Vélez Otero, a mis abuelos, Sr. Pablo Otero Arrieta y Sra. Leda Bula, quienes siempre están auditores en mi vida siendo mi soporte y la brújula que señala mi destino. Padres y abuelos: “el camino fue espinoso, pero la deleite es grandiosa”.

### **NICOLÁS EDUARDO OTERO VÉLEZ**

*Los que sembraron con lágrimas, con regocijo segarán. Irá andando y llorando el que lleva la preciosa semilla; mas volverá a venir con regocijo, trayendo sus gavillas.*

*Salmos 126:5-6*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestro padre celestial, DIOS, que desde lo alto fue lumbrera a nuestro camino. A todas las personas que conforman el programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Córdoba, jefe de departamento, docentes y secretarias, quienes colaboraron con nuestra formación profesional y humana durante estos años de estudio. Agradecemos de forma especial a nuestro director de proyecto Ing. Demóstenes Durango, por su incondicional apoyo, a los docentes Elkin Medellín y Oscar Peralta, por su dedicación y atención en todo el transcurso de este proyecto, por ser amigos y las personas que en todo momento estuvieron allí para guiarnos de la mejor manera en medio de las dificultades.

También agradecemos de manera especial a Omar Doria y a Adilfadi Martínez, por siempre estar atento a cada una de las necesidades en las que fue indispensable su servicio, de igual manera la empresa Taller Granja Industrial.

A nuestros padres, familiares y amigos por ser el motor de nuestras vidas.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN DEL PROYECTO .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>15</b>
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....</b>	<b>16</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.2. OBJETIVOS .....	19
1.2.1. Objetivo general.....	19
1.2.2. Objetivos específicos .....	19
1.3. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	20
1.3.1. Antecedentes .....	20
1.3.2. Los materiales y sus propiedades.....	21
1.3.3. Funcionamiento de una máquina universal de ensayos .....	23
1.4. DISEÑO MECÁNICO .....	26
1.5. VALIDACIÓN .....	29
<b>2. CONTENIDO METODOLÓGICO .....</b>	<b>30</b>
2.1. METODOLOGÍA .....	31
2.1.1. Diseño y selección de los elementos mecánicos del prototipo. ....	31
2.1.1.1. Diseño de las vigas.....	34
2.1.1.2. Diseño de las barras fijas y móviles.....	34
2.1.1.3. Diseño de las mordazas de sujeción para el ensayo a tensión .....	36
2.1.1.4. Cálculo y selección del sistema hidráulico .....	37
2.1.2. Construcción y puesta en marcha del prototipo.....	38
2.1.3. Validación del prototipo .....	39
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>
3.1. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL PROTOTIPO .....	42
3.1.1. Cálculo de la capacidad de la máquina .....	42
3.1.2. Diseño de las vigas .....	42



3.1.3. Diseño de las barras .....	45
3.1.3.1. Barras fijas .....	45
3.1.3.2. Barras móviles.....	47
3.1.4. Diseño de las mordazas de sujeción para el ensayo a tensión .....	50
3.1.5. Cálculo y selección del sistema hidráulico .....	55
3.1.5.1. Cálculo y selección del cilindro hidráulico.....	55
3.1.5.2. Cálculo y selección de la bomba .....	60
3.1.5.3. Diagrama del sistema hidráulico .....	62
3.2. CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO .....	63
3.2.1. Construcción de las vigas tipo cajón.....	64
3.2.2. Construcción de las barras fijas y móviles.....	65
3.2.3. Construcción de la mesa .....	66
3.2.4. Montaje del circuito hidráulico.....	67
3.2.5. Accesorios para los ensayos .....	68
3.2.5.1. Construcción de las mordazas para el ensayo a tensión.....	68
3.2.5.2. Accesorio para el ensayo de compresión .....	70
3.2.5.3. Accesorio para el ensayo de flexión.....	70
3.2.6. Montaje del sistema de video.....	70
3.3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO .....	71
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO A - IMÁGENES PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>82</b>
<b>A1-PLANOS DE CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO B-VALIDACIÓN DEL PROTÓTIPO .....</b>	<b>90</b>

<b>B1- PROBETAS PARA ENSAYOS DE Tensión, COMPRESIÓN Y FLEXIÓN A TRES PUNTOS .....</b>	<b>90</b>
<b>B2- ENSAYO DE Tensión MÁQUINA PATRÓN .....</b>	<b>91</b>
<b>B3- ENSAYO DE Tensión PROTOTIPO CONSTRUIDO .....</b>	<b>93</b>
<b>B4-ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO A Tensión .....</b>	<b>93</b>
<b>B5-ENSAYO DE COMPRESIÓN MÁQUINA PATRÓN .....</b>	<b>94</b>
<b>B6- ENSAYO DE COMPRESIÓN PROTOTIPO CONSTRUIDO .....</b>	<b>95</b>
<b>B7- ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN .....</b>	<b>95</b>
<b>B8-ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS MÁQUINA PATRÓN .....</b>	<b>96</b>
<b>B9- ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS PROTOTIPO CONSTRUIDO .....</b>	<b>97</b>
<b>B10- ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO C- GUIA DE USO Y MANTENIMIENTO .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO D- FICHA TÉCNICA DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>103</b>

## **LISTADO DE FIGURAS**

<i>Figura 1. Clasificación de los ensayos de materiales.</i>	23
<i>Figura 2. Máquina Universal Mono-espacio.</i>	24
<i>Figura 3. Máquina Universal Doble-espacio.</i>	25
<i>Figura 4. Accionamiento mecánico.</i>	26
<i>Figura 5. Fases del proceso de diseño.</i>	27
<i>Figura 6. Diseño preliminar de la estructura del prototipo.</i>	32
<i>Figura 7. Probeta estándar según Norma ASTM E8.</i>	32
<i>Figura 8. Vista frontal y lateral de la viga tipo cajón, medidas en milímetros.</i>	34
<i>Figura 9. Dimensiones de los elementos de las mordazas.</i>	36
<i>Figura 10. Representación vigas sometidas a flexión.</i>	42
<i>Figura 11. Diagrama de Momento flector de la viga.</i>	43
<i>Figura 12. Dimensiones finales de la viga.</i>	45
<i>Figura 13. Barras fijas.</i>	45
<i>Figura 14. Barras móviles.</i>	48
<i>Figura 15. Diseño final de las mordazas.</i>	50
<i>Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de las mordazas.</i>	51
<i>Figura 17. Análisis por carga axial excéntrica en un plano de simetría.</i>	52
<i>Figura 18. Cilindro hidráulico seleccionado.</i>	56
<i>Figura 19. Tipo de fijación del cilindro hidráulico.</i>	57
<i>Figura 20. Determinación del diámetro del vástago.</i>	58
<i>Figura 21. Válvula 4/3 vías seleccionada.</i>	59
<i>Figura 22. Válvula limitadora de caudal.</i>	61
<i>Figura 23. Válvula reguladora de presión.</i>	61
<i>Figura 24. Potencia del motor eléctrico.</i>	62
<i>Figura 25. Diagrama del circuito hidráulico.</i>	63
<i>Figura 26. a) Material de 25,4 mm de espesor. b) Estaje de las placas verticales. c) Perforación de las placas horizontales para la fijación de las barras. d) Proceso de soldadura MIG para la unión de las partes.</i>	64
<i>Figura 27. a) Barras de 50,8 mm de diámetro con longitudes de 600 mm y 950 mm. b) Perforación de las barras. c) Machuelado de las barras.</i>	65
<i>Figura 28. a) Corte y soldadura de los perfiles en U para la mesa. b) Fijación de la placa base a la mesa. c) Perforación de la placa base con oxicorte. d) Perforaciones a la placa base para la fijación del cilindro.</i>	66
<i>Figura 29. a) Cilindro hidráulico. b) Válvula reguladora de caudal. c) Válvula limitadora de presión. d) Manómetro. e) Mangueras. f) Unidad de potencia hidráulica: bomba, motor eléctrico, filtro y reservorio.</i>	67
<i>Figura 30. Circuito hidráulico del prototipo.</i>	68
<i>Figura 31. a) Taladrado. b) Amortajado. c) Fresado. d) Bloque mordazas.</i>	69
<i>Figura 32. Accesorio para el ensayo de compresión.</i>	70
<i>Figura 33. Accesorio para ensayo de flexión a tres puntos.</i>	70
<i>Figura 34. Sistema de video.</i>	71

<i>Figura 35. (a) Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia; (b) Prototipo construido.</i>	72
<i>Figura 36. Prototipo máquina universal de ensayos.</i>	82
<i>Figura 37. Plano cajón 1.</i>	83
<i>Figura 38. Plano cajón 2.</i>	84
<i>Figura 39. Plano cajón 3.</i>	85
<i>Figura 40. Plano barras fijas y móviles.</i>	86
<i>Figura 41. Plano mordazas para el ensayo de tensión.</i>	87
<i>Figura 42. Plano mesa.</i>	88
<i>Figura 43. Plano placa de la mesa.</i>	89
<i>Figura 44. Probetas estándar para el ensayo de tensión, Norma ASTM E8.</i>	90
<i>Figura 45. Probetas estándar para el ensayo de compresión, Norma ASTM E9.</i>	90
<i>Figura 46. Probetas estándar para el ensayo de flexión a tres puntos, Norma ASTM D143.</i>	91
<i>Figura 47. Ensayo de tensión en la máquina patrón.</i>	91
<i>Figura 48. Resultado ensayo de tensión probeta 1.</i>	92
<i>Figura 49. Resultado ensayo de tensión probeta 2.</i>	92
<i>Figura 50. Resultado ensayo de tensión probeta 3.</i>	92
<i>Figura 51. Ensayo de tensión prototipo máquina universal de ensayos de la Universidad de Córdoba.</i>	93
<i>Figura 52. Ensayo de compresión en la máquina patrón.</i>	94
<i>Figura 53. Ensayo de compresión en la probeta 1.</i>	94
<i>Figura 54. Ensayo de compresión en la probeta 2.</i>	94
<i>Figura 55. Ensayo de compresión en la probeta 3.</i>	94
<i>Figura 56. Ensayo de compresión prototipo máquina universal de ensayos de la Universidad de Córdoba.</i>	95
<i>Figura 57. Ensayo de flexión a tres puntos en la máquina patrón.</i>	96
<i>Figura 58. Resultado ensayo de flexión a tres puntos.</i>	96
<i>Figura 59. Ensayo de flexión a tres puntos prototipo máquina universal de ensayos de la Universidad de Córdoba.</i>	97

## **LISTADO DE TABLAS**

<i>Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2. Datos técnicos de la válvula seleccionada.</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3. Bomba de engranes seleccionada.</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4. Resultados obtenidos en el ensayo de tensión.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 5. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 6. Resultados obtenidos en el ensayo de flexión a tres puntos.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 7. Análisis t-Student para los dos muestras.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 8. Análisis t-Student para los dos muestras.</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 9. Análisis t-Student para los dos muestras.</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 10. Resultado ensayo de tensión (prototipo).</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 11. Datos de esfuerzo último (MPa) en las dos máquinas.</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 12. Resultado ensayo de compresión (prototipo).</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 13. Datos de esfuerzo último (MPa) en las dos máquinas.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 14. Resultado ensayo de flexión a tres puntos (prototipo).</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 15. Datos de esfuerzo último (MPa) en las dos máquinas.</i>	<i>97</i>

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Este documento cuenta con cinco capítulos donde se detallan, las etapas y fases del proyecto.

En el primer capítulo se describen las generalidades del proyecto, como son antecedentes, objetivos, y una revisión de literatura acerca de: los materiales de ingeniería y sus propiedades; funcionamiento de una máquina universal y su clasificación; diseño de ingeniería y por último la forma de validación de un equipo.

En el segundo capítulo se encuentra el desarrollo del contenido metodológico del proyecto el cual se describió en 4 etapas, donde se mencionan las actividades realizadas para cumplir con los objetivos.

Se da paso al diseño, construcción y validación del prototipo en el capítulo tres, en este se llevó a cabo el proceso de selección de materiales, determinación de las dimensiones de los elementos que conforman la estructura del equipo, selección de los componentes del sistema de accionamiento (Hidráulico), se describen los procesos de manufactura empleados para la construcción y ensamble de las partes del prototipo, y por último se lleva a cabo la obtención de resultados para el análisis de estos.

Finalmente el capítulo cuatro, contiene las conclusiones y el capítulo cinco las recomendaciones.

## **ABSTRACT**

The stages and phases of this work are detailed on five chapters.

On the first chapter, an over view regarding to back grounds, objectives, universal machine operation and its classification as well as a literature review of material engineering and their properties, mechanical engineering design and the validation procedure used on mechanical equipment.

The second chapter describes the activities, and procedures employed to fulfill the objectives. On the third chapter; the prototype design is presented, the design took into account the material selection, the structure element dimensions calculation and the selection of the hydraulic drive system components, the manufacture processes, the construction and assembly of the prototype parts are described. Also contain the validation machine process and the results and analysis.

Finally the chapter four contain the conclusion and recommendations are given on chapter five.

## **1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO**



## 1.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los materiales es un tema que con el pasar de los tiempos fue cobrando fuerzas, debido a las exigencias que la sociedad demanda, las cuales han permitido alcanzar los avances tecnológicos que hoy en día encontramos, pero la construcción de estas nuevas tecnologías requiere de materiales que puedan cumplir con las condiciones de uso de éstas.

Las propiedades mecánicas de los materiales, se pueden conocer mediante la realización de ensayos mecánicos-destructivos, como los de tensión, compresión y flexión, dichos ensayos son objeto de estudio en el programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Córdoba en las asignaturas de Resistencia de Materiales I y II.

En la actualidad el programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Córdoba, no cuenta con equipos propios para desarrollar los ensayos correspondientes al área de Resistencia de Materiales, por lo tanto se vienen desarrollando en laboratorios de otras universidades mediante convenios.

Por lo anterior se da paso al **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES”** que permita a los estudiantes realizar los respectivos ensayos a materiales, para así afianzar conocimientos en esta área tan importante para su desarrollo.

Este proyecto se ejecutó en cuatro etapas, la primera radica en la recolección de la información correspondiente a:

- ❖ Normatividad para los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos.
- ❖ Funcionamiento y tipos de máquinas universales de ensayos.

- ❖ Selección de materiales.
- ❖ Catálogos para seleccionar elementos mecánicos y el sistema hidráulico.
- ❖ Elementos de medición, control y captación de datos.

La segunda etapa se fundamentó en el diseño del prototipo en esta se realizaron todos los cálculos necesarios para la selección de los elementos que constituyen el prototipo; con esta se dio paso a la tercera etapa la cual consistió en la construcción y montaje del prototipo. Por último se hizo la validación del equipo que consistió en comparar los resultados de ensayos en una máquina universal normalizada con los resultados del equipo construido.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar, construir y validar el prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales en el programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Córdoba, a través de métodos experimentales.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- ❖ Diseñar y seleccionar los elementos mecánicos necesarios que conlleven a la construcción del prototipo de la máquina, de acuerdo a modelos planteados en la literatura.
- ❖ Aplicar los procesos de manufactura adecuados para la construcción del prototipo de la máquina para ensayos de Resistencia de Materiales.
- ❖ Validar el prototipo mediante la comparación de los datos obtenidos con este y los obtenidos en una máquina normalizada, que permitan encontrar los posibles factores de corrección que pueden existir.

## **1.3. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **1.3.1. Antecedentes**

El uso correcto de los materiales para la construcción de elementos que usamos en la vida diaria, se debe al conocimiento de las propiedades que se tienen de estos. La caracterización mecánica se describe como un procedimiento mediante el que se puede determinar las propiedades mecánicas de un material. El equipo utilizado para determinar algunas propiedades mecánicas se conoce como máquina universal de ensayos, esta es una prensa con la que es posible someter materiales a diferentes cargas, por ejemplo de tensión o compresión. La primera máquina universal de ensayos fue construida por Tinius Olsen, un inventor apasionado por encontrar nuevos métodos para comprobar los límites de los materiales.

Con respecto a los dispositivos para realizar ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos, a nivel nacional se encuentra:

- ❖ Juan Lessmann y Luis puentes (2007) diseñaron, construyeron y pusieron en funcionamiento un dispositivo que permitiera realizar ensayos de tensión uniaxial a temperaturas moderadas, el cual se adapta a una máquina universal de ensayos mecánicos.
- ❖ Rene Alexander Mazzini Lindao y Rubén Darío Flórez Marín (2011) llevaron a cabo la construcción y prueba de una maquina universal de ensayos con capacidad de 30 toneladas. Seleccionaron un circuito hidráulico para el accionamiento de la máquina, además llevaron a cabo el diseño de cada uno de los elementos de la estructura y finalmente realizaron la construcción y ensamble del equipo.

- ❖ Paula Andrea Gallego Botero y Rolando Ferney Claros Claros (2007) realizaron el diseño mecánico de una maquina universal para ensayos de polímeros, con accionamiento mecánico y estructura monoespacio. Diseñaron los elementos de máquinas necesarios para la construcción de la máquina.
- ❖ José Daniel Ballén Briceño (2008) diseño el marco de una prensa para pruebas estáticas y dinámicas de dispositivos ortopédicos. Los parámetros funcionales de la máquina se obtuvieron de la información encontrada en artículos académicos, designaciones de la ASTM, catálogos comerciales y patentes. Se realizó una evaluación de alternativas para la unidad mecánica actuadora. Así mismo, se estudiaron diferentes propuestas para la construcción de las partes.

No se tienen antecedentes del diseño, construcción y validación de una máquina para ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos en la Universidad de Córdoba.

### **1.3.2. Los materiales y sus propiedades**

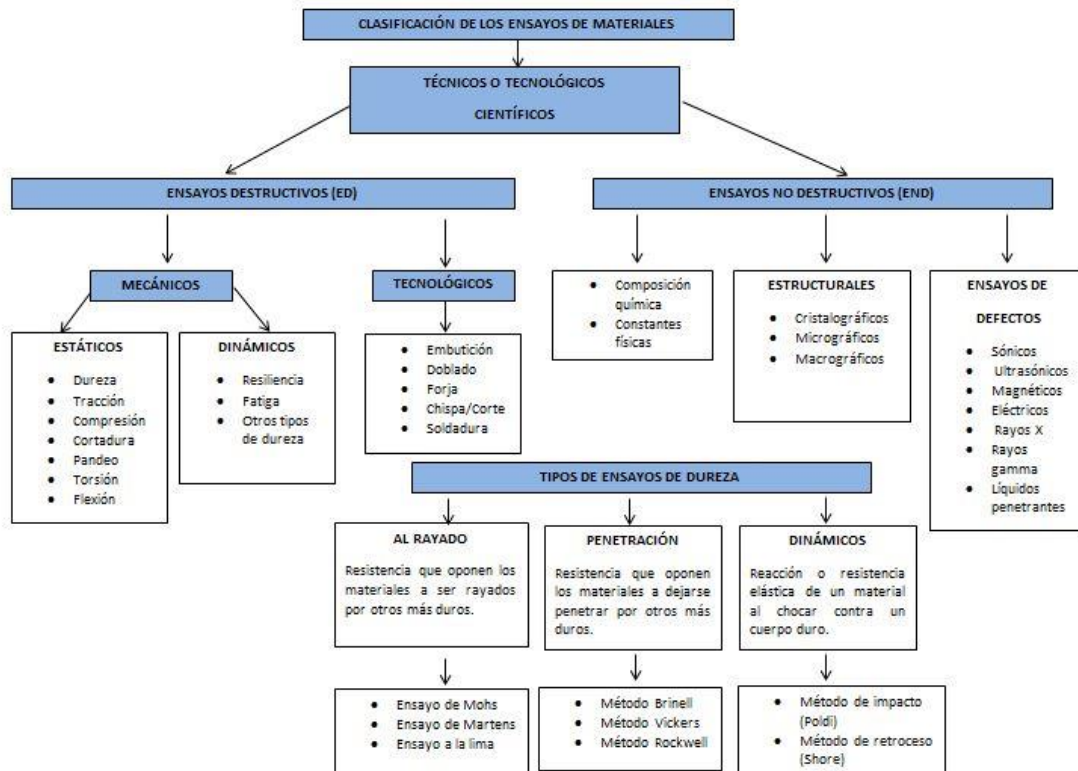
Se puede decir que el hombre ha respondido en cada fase de la historia a la incitación del medio, utilizando y creando para ello las herramientas que precisaba en cada instante. Para la fabricación de estas herramientas se necesitó de un material, lo que llevo a conocer más de estos, ya que antiguamente, sólo la experiencia del constructor o del artesano permitía seleccionar los materiales más idóneos en cada caso. Actualmente, a medida que aumentamos el consumo de materiales, se hace necesario racionalizar al máximo su aprovechamiento, evitando sobredimensionamientos costosos e innecesarios. La reducción de los coeficientes obliga a intensificar el control de los materiales, dando cada vez con esto más importancia al ensayo de los mismos. Hoy en día existen un gran número de materiales, algunos naturales y otros sintéticos, y cada uno de ellos tiene una serie de

cualidades que lo diferencian del resto: sus propiedades (Vergara Camacho & Martínez Cervantes, 2008).

La noción de “propiedad” necesita cierta elaboración. Un material en servicio está expuesto a estímulos externos que provocan algún tipo de respuesta. Por ejemplo, una muestra sometida a esfuerzos experimenta deformación; o un metal pulido refleja luz. Las propiedades de un material se expresan en términos del tipo y magnitud de la respuesta a un estímulo específico impuesto. Las definiciones de las propiedades suelen ser independientes de la forma y del tamaño del material (Callister, 2007).

Todas las propiedades importantes de los materiales sólidos se agrupan en seis categorías: mecánicas, eléctricas, térmicas, magnéticas, ópticas y químicas. Para categoría existe un tipo característico de estímulos capaz de provocar respuestas diferentes (Callister, 2007).

Para la determinación de estas propiedades existen los ensayos de materiales, dependiendo de lo que se desee conocer se emplean diferentes técnicas o métodos. La clasificación de los ensayos de materiales se muestra en la figura 1:



**Figura 1. Clasificación de los ensayos de materiales.**

*Tomada de:* (Sierra & Jiménez, 2014)

Para este proyecto, el objeto de estudio se centra en los ensayos destructivos-mecánicos, específicamente en los ensayos de tensión, compresión y finalmente flexión a tres puntos (temas objeto de estudio en la asignatura de Resistencia de Materiales I y II).

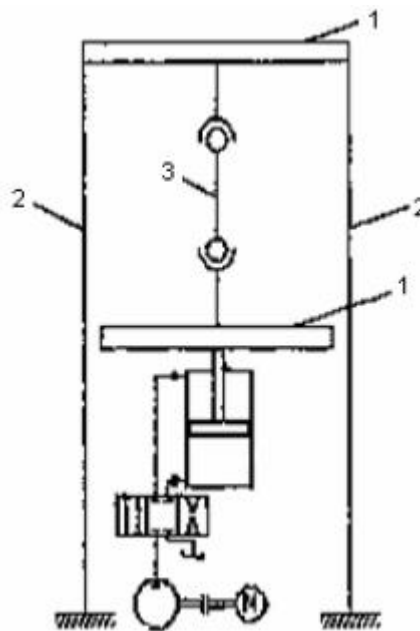
### 1.3.3. Funcionamiento de una máquina universal de ensayos

Actualmente, los equipos utilizados para la realización de ensayos mecánicos, son las máquinas universales de ensayos, estas pueden variar sus características de acuerdo a la necesidad del solicitante (Carga Máxima Requerida). La máquina universal de ensayos realiza tres ensayos fundamentalmente: el ensayo de tensión, el ensayo de compresión y el ensayo de flexión. Para la realización de otro tipo de ensayos se requiere disponer de unos accesorios adicionales según sea la prueba a realizar.

Se clasifican según su estructura y su tipo de accionamiento.

Según su estructura,

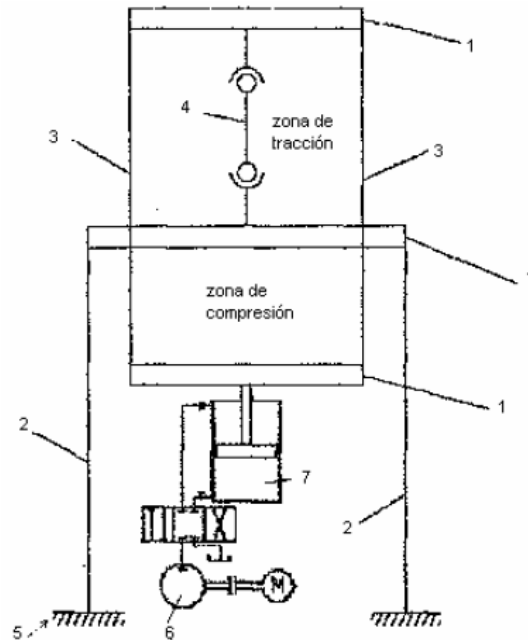
- ❖ Mono espacio: como se observa en la Figura 2, esta estructura posee dos puentes (1) y dos columnas (2) que los comunican. En los dos puentes se pueden ensamblar los diámetros que se necesitan para fijar el material de ensayo (3) y así poder realizar las pruebas de compresión, flexión o tensión (Gallego Botero & Claros Claros, 2007).



**Figura 2. Máquina Universal Mono-espacio.**  
*Tomada de: (Gallego Botero & Claros Claros, 2007)*

- ❖ Doble espacio: como se observa en la Figura 3, esta estructura posee un sistema inversor (3) y un sistema fijo (2) que forman una estructura de tres puentes y cuatro columnas. El inversor tiene dos puentes (1) y dos columnas (3), las columnas del inversor son totalmente independientes del otro sistema. El sistema fijo se compone de un puente y dos columnas (2) que van fijas a una carcasa (5) que soporta todo el armazón (Gallego Botero & Claros Claros, 2007).

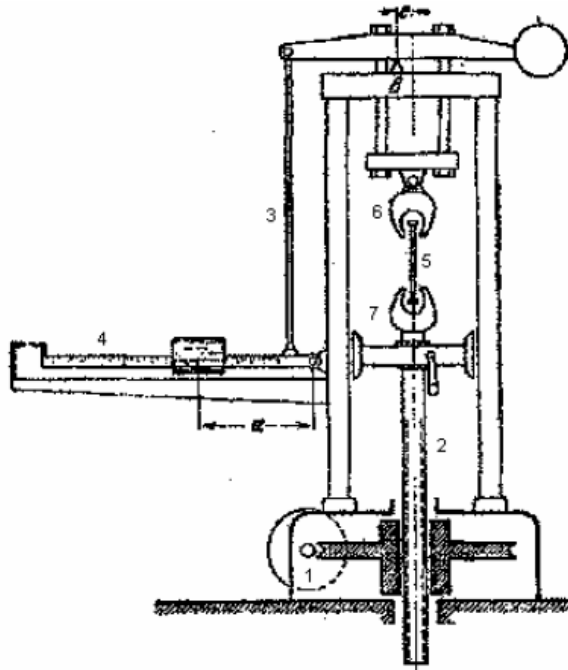




**Figura 3. Máquina Universal Doble-espacio.**  
*Tomada de: (Gallego Botero & Claros Claros, 2007)*

Según el accionamiento,

- ❖ **Accionamiento hidráulico:** Este accionamiento se puede observar en la Figura3, donde la fuerza se aplica por medio de un sistema de bomba (6) y cilindro (7) (Gallego Botero & Claros Claros, 2007).
- ❖ **Accionamiento mecánico:** Este accionamiento se puede observar en la Figura 4, donde los dispositivos pueden ser motor (1), tornillo (2), cadena (3), palanca (4), probeta (5), mordaza superior (6) y mordaza inferior (7) (Gallego Botero & Claros Claros, 2007).



**Figura 4. Accionamiento mecánico.**  
*Tomada de:* (Gallego Botero & Claros Claros, 2007).

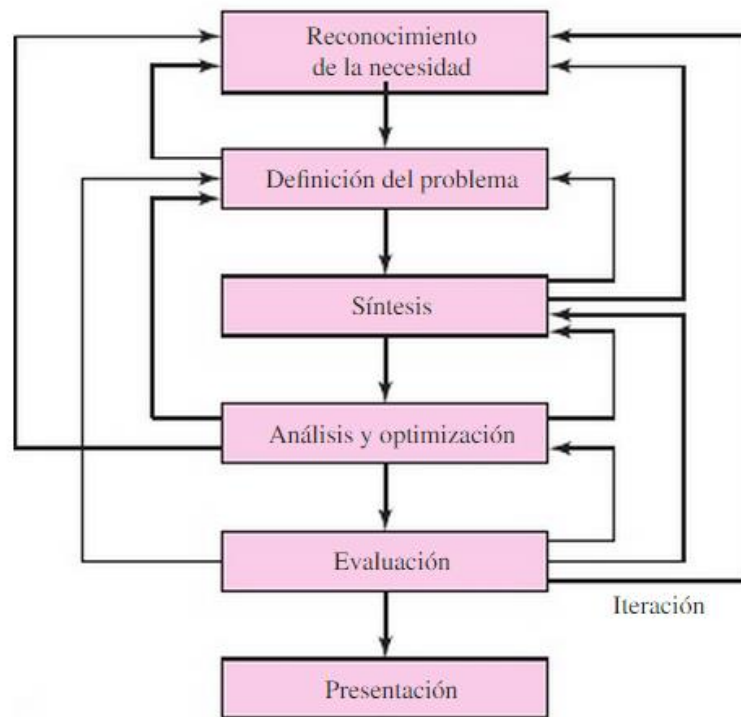
## 1.4. DISEÑO MECÁNICO

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse. El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces éstas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa (Budynas & Nisbett, 2008).

También se puede definir el diseño como una secuencia lógica de pasos que sigue el diseñador a partir de ciertos datos de entrada, para obtener la solución de ingeniería más

práctica y funcional que satisfaga un problema particular. El proceso es en esencia un ejercicio de creatividad y aplicación de conocimientos, pero requiere de un método estricto y organizado que facilita, pero no garantiza, la obtención de resultados (Castaño Posada & Moreno Ramirez, 2004).

El proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación. En la figura 5 se observa la secuencia para llevar a cabo el proceso de diseño (Budynas & Nisbett, 2008).



**Figura 5. Fases del proceso de diseño.**  
*Tomada de: (Budynas & Nisbett, 2008).*

Para el diseño mecánico se hace necesario tener en cuenta algunas consideraciones ya que generalmente la resistencia que requiere un elemento de un sistema significa un factor

importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la resistencia es una consideración de diseño importante. Cuando se emplea la expresión consideración de diseño se involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal vez en todo el sistema. A menudo se deben considerar muchas de esas características en una situación de diseño dada. Entre las más importantes se pueden mencionar (no necesariamente en orden de importancia):

- |                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| ❖ Funcionalidad                | ❖ Ruido                  |
| ❖ Resistencia/esfuerzo         | ❖ Estilo                 |
| ❖ Distorsión/deflexión/rigidez | ❖ Forma                  |
| ❖ Desgaste                     | ❖ Tamaño                 |
| ❖ Corrosión                    | ❖ Control                |
| ❖ Seguridad                    | ❖ Propiedades térmicas   |
| ❖ Confiabilidad                | ❖ Superficie             |
| ❖ Manufacturabilidad           | ❖ Lubricación            |
| ❖ Utilidad                     | ❖ Comercialización       |
| ❖ Costo                        | ❖ Mantenimiento          |
| ❖ Fricción                     | ❖ Volumen                |
| ❖ Peso                         | ❖ Responsabilidad legal  |
| ❖ Vida                         | ❖ Capacidad de reciclado |

Algunas de estas propiedades se relacionan de manera directa con las dimensiones, el material, el procesamiento y la unión de los elementos del sistema. Algunas características pueden estar interrelacionadas, lo que afecta la configuración del sistema total.

## 1.5. VALIDACIÓN

La validación tiene como propósito conocer; el desempeño del equipo en el medio ambiente de trabajo, funcionalidad, servicio y capacidad para cumplir satisfactoriamente las pruebas de un producto de acuerdo a la norma bajo la cual se fabrica el producto o bajo patrones que cumplan los requerimientos de la norma.

El proceso de validación, siempre que se pueda, debe incluir:

- ❖ Criterios para la revisión
- ❖ La cualificación de los equipos
- ❖ El uso de metodologías y procedimientos definidos
- ❖ Análisis de la información

En una validación el objetivo último es asegurar que si dos laboratorios tienen equipos que se calibran (comparan) de una manera trazable a un patrón de referencia, se podrá suponer, que en ausencia de otros problemas debidos a personal, métodos, etc... Sus medidas serán completamente comprables, y no existirá variación entre las mismas. Por ello es necesario realizar una operación de comparación de las respuestas de los equipos o sistemas de medida con los valores conocidos de una medida para garantizar que medimos igual que otros laboratorios (Gisbert Soler, Pérez Bernabéu, & Cebrián Aznar, 2012).

## **2. CONTENIDO METODOLÓGICO**

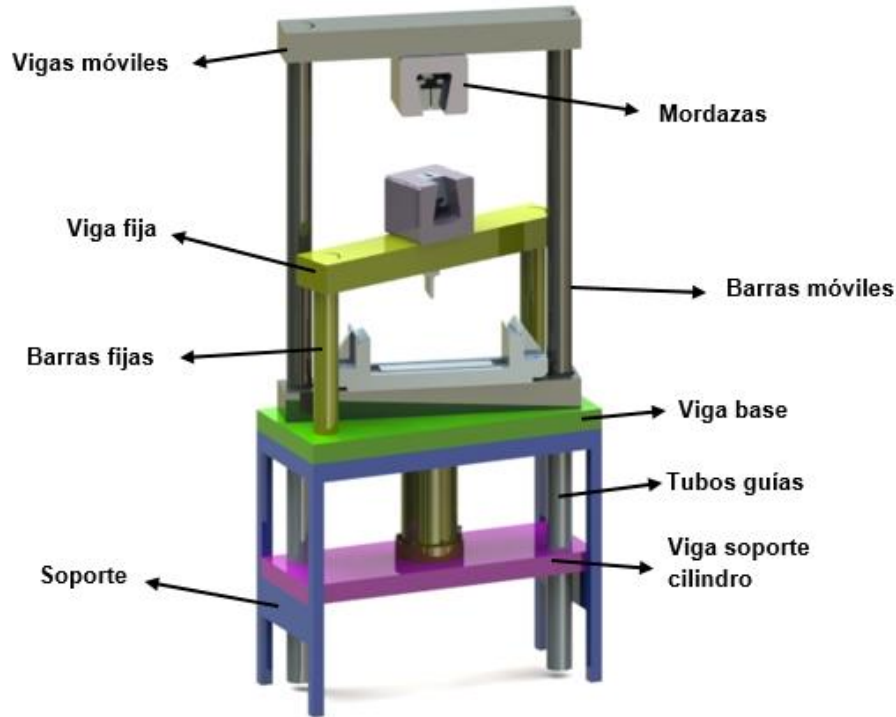
## **2.1. METODOLOGÍA**

Para el diseño, construcción y validación del prototipo de una maquina universal de ensayos, se seleccionó, de acuerdo a los modelos propuestos, una estructura doble espacio y de accionamiento hidráulico, con una capacidad máxima de 100 kN que permite realizar los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos, con velocidades entre 1 mm/min y 5 mm/min.

Para proceder con el desarrollo del proyecto se implementó una metodología que se llevó a cabo empleando las siguientes etapas:

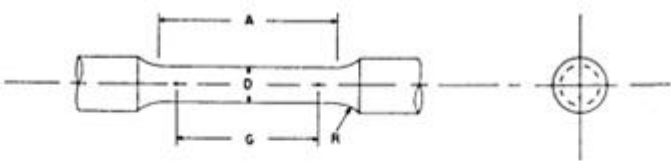
### **2.1.1. Diseño y selección de los elementos mecánicos del prototipo.**

Para esta etapa se tuvo en cuenta inicialmente las dimensiones de las probetas y de los mecanismos utilizados para la realización de los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos, de acuerdo a las normas ASTM E8-8, ASTM E9-09 y ASTM D143-09 respectivamente. Con fundamento en lo anterior se estableció el diseño preliminar de la estructura como se muestra en la figura 6.



**Figura 6. Diseño preliminar de la estructura del prototipo.**  
*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

A partir de los materiales a ensayar a tensión uniaxial, tomando como punto de partida un material con resistencia de  $\sigma = 700 \text{ MPa}$  y las dimensiones de una probeta estándar según NORMA ASTM E8 de 2008, como se muestra en la figura 7.



Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gage Length Four times the Diameter [E 8]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	11.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

**Figura 7. Probeta estándar según Norma ASTM E8.**  
*Tomada de: (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials E8, 2008)*



Se determinó la carga máxima que se puede medir en el prototipo de acuerdo a la ecuación 1 (Beer, Russell, DeWolf, & Mazurek, 2012).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo de 700 MPa, A es el área de la sección transversal de la probeta estándar y F es la carga máxima del equipo.

Teniendo en cuenta este valor y que el material utilizado para el diseño de la estructura fue un acero ASTM A36, debido a que es el más utilizado para la construcción de estructuras metálicas y que posee buenas propiedades mecánicas, se hizo un análisis de resistencia de materiales que permitió calcular las dimensiones de cada uno de los elementos que conforman la estructura del prototipo. En la tabla 1, se muestran las propiedades del acero ASTM A36.

**Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.**

Propiedades Mecánicas				
Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción (Kg/mm <sup>2</sup> )		Elongación
(Kg/mm <sup>2</sup> )	MPa	(Kg/mm <sup>2</sup> )	MPa	%
25,5 (mín)	250 (mín)	40,8 (mín)	400 (mín.)	20 (mín.)

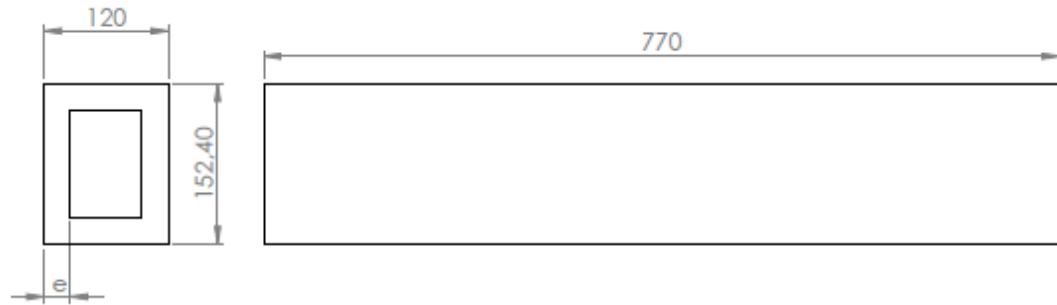
*Tomada de: Catálogo de Aceros Oteros, 2015.*

También se tuvo en cuenta un concepto importante para el diseño y construcción de estructuras metálicas, este es el factor de seguridad ( $F_s$ ), el cual se fue determinando mediante la ecuación 2 para cada uno de los elementos a diseñar.

$$P = F_s = \frac{F_{max}}{F_{adm}} \quad (2)$$

#### 2.1.1.1. Diseño de las vigas

A partir de las dimensiones del accesorio para realizar ensayos de flexión a tres puntos, establecidas en la norma ASTM D143 de 2009, se definió la sección transversal de la viga y la longitud de estas, como se muestra en la figura 8.



**Figura 8. Vista frontal y lateral de la viga tipo cajón, medidas en milímetros.**

*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

Se calculó el espesor  $e$  y la deflexión en la viga, mediante la ecuación 3 y 4 respectivamente (Beer, Russell, DeWolf, & Mazurek, 2012):

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3)$$

Donde,  $M$  es el momento máximo en la viga,  $\sigma$  es el esfuerzo de fluencia del material e  $I$  es el momento de inercia de la sección transversal de la viga.

$$y = \frac{PL^3}{48EI} \quad (4)$$

Donde  $P$  es la carga aplicada,  $L$  es la longitud de la viga,  $E$  es el módulo elástico, e  $I$  es el momento de inercia de la sección transversal de la viga.

#### 2.1.1.2. Diseño de las barras fijas y móviles

De acuerdo a la longitud de la probeta estándar mostrada en la figura 7, se estableció que las barras fijas y móviles, deben tener una longitud de 600 mm y 950 mm respectivamente.

#### ❖ Barras fijas

En la figura 6, se observa que estas siempre estarán trabajando a tensión, por lo tanto se determinó el diámetro y la deformación de las barras mediante las ecuaciones 5 y 6 (Beer, Russell, DeWolf, & Mazurek, 2012):

$$\sigma_F = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Donde  $F$  es la fuerza aplicada sobre el elemento,  $\sigma_F$  es el esfuerzo de fluencia del material, y  $A$  es el área de la sección transversal de la barra.

$$\rho = \frac{P * L}{A * E} \quad (6)$$

Donde  $L$  es la longitud de las barras fijas,  $P$  es la carga aplicada,  $A$  es el área de la sección transversal del elemento y  $E$  es el módulo elástico del material.

#### ❖ Barras móviles

Se observa en la figura 6, que las barras móviles, sea cual sea el tipo de ensayo que se esté realizando siempre van a estar sometidas a compresión, por lo tanto se analizaron como columnas. Se determinó si eran columnas cortas o largas, comparando los valores de razón de esbeltez y relación de transición, calculados con las ecuaciones 7 y 8 (Mott, 2006) respectivamente, para un diámetro de 50,8 mm.

$$SR = \frac{L_e}{r_g} \quad (7)$$

Donde  $L_e$  es la longitud equivalente de la columna dependiendo del tipo de apoyo y  $r_g$  es el radio de giro.

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (8)$$

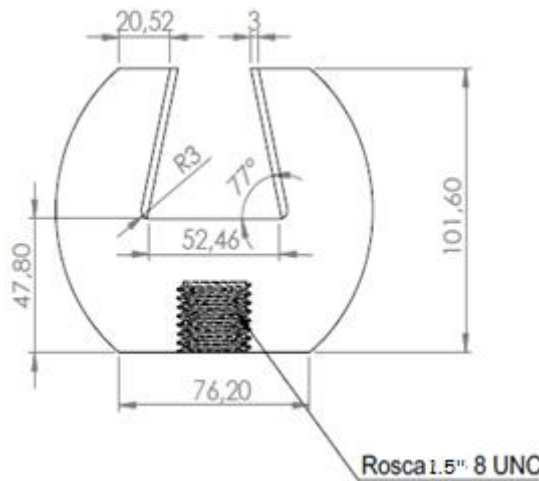
Donde E es el módulo de elasticidad y  $S_y$  es el esfuerzo de fluencia del material.

Dado que  $SR < Cc$  se dice que la columna es corta, por lo tanto se verificó que la carga crítica para la columna no sobrepasó la carga máxima del prototipo, mediante la ecuación 9 (Mott, 2006).

$$P_{cr} = AS_y \left\{ 1 - \left[ \frac{S_y \left( \frac{L_e}{r_g} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \right\} \quad (9)$$

### 2.1.1.3. Diseño de las mordazas de sujeción para el ensayo a tensión

Para el diseño de las mordazas se seleccionó una geometría simple, como se observa en la figura 9.



**Figura 9. Dimensiones de los elementos de las mordazas.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

Para determinar el espesor  $e$  de las mordazas, se realizó un análisis por carga axial excéntrica en un plano de simetría.

#### 2.1.1.4. Cálculo y selección del sistema hidráulico

Para el tipo de accionamiento del equipo, se seleccionó un cilindro hidráulico, bomba, motor eléctrico, reservorio, válvulas, y demás accesorios del sistema, de acuerdo a los siguientes parámetros:

- a. El sistema hidráulico debe permitir aplicar la carga máxima de trabajo de la máquina (100 kN).
- b. La carrera del cilindro debe ser 250 mm, ya que es la distancia que permite realizar con libertad los 3 ensayos y sus respectivos montajes.
- c. La velocidad máxima del cilindro para los ensayos será de 5 mm/min.
- d. La presión máxima de trabajo de la bomba será de 100 bares (10 MPa).

#### ❖ Cálculo y selección del cilindro

Se determinó el diámetro del pistón del cilindro mediante la ecuación 10 (Exner, y otros, 1991).

$$P = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Donde P es la presión del sistema, F es la capacidad del prototipo y  $A = \frac{\pi(D_p)^2}{4}$

es el área de sección transversal del pistón del cilindro.

Teniendo en cuenta este valor se seleccionó el cilindro del catálogo de cilindros hidráulicos FERJOVI; para el avance y retroceso de este se seleccionó una válvula direccional 4/3 vías con accionamiento manual del catálogo de válvulas hidráulicas FESTO.

#### ❖ Cálculo y selección de la bomba

Se seleccionó la bomba del catálogo de bombas ROQUET, teniendo en cuenta la presión máxima de trabajo del sistema y el caudal necesario para obtener la velocidad máxima requerida para la realización de los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos.

El caudal se determinó mediante la ecuación 11 (Exner, y otros, 1991):

$$Q = A * v \quad (11)$$

Donde A es el área transversal del pistón ( $A = \frac{\pi D_p^2}{4}$ ) y v es la velocidad máxima para los ensayos.

Teniendo en cuenta que en el comercio se encontró una bomba con un caudal superior al requerido, se usó una válvula reguladora de caudal, seleccionada del catálogo de válvulas hidráulicas ROEMHELT.

Para brindar seguridad al sistema hidráulico se instaló una válvula limitadora de presión seleccionada del catálogo ROEMHELT.

Por ultimo teniendo en cuenta los datos técnicos de la bomba seleccionada se determinó la capacidad del motor eléctrico para el accionamiento del sistema.

#### **2.1.2. Construcción y puesta en marcha del prototipo**

Luego de haber definido el diseño, se llevó a cabo la construcción de cada uno de los elementos que componen la máquina prototipo, se hizo inicialmente la compra de los materiales, después se realizaron todos los procesos de manufactura requeridos para obtener las dimensiones de las piezas definidas en planos. Para la parte hidráulica se

adquirieron todos los accesorios necesarios para luego hacer el respectivo montaje de todo el sistema. Los procesos fueron ejecutados en la empresa TALLER GRANJA INDUSTRIAL y por los mismos estudiantes con asesoría de los docentes Ing. Elkin Medellín e Ing. Oscar Peralta, en las instalaciones del laboratorio de procesos de manufactura de la Universidad de Córdoba.

Posterior al ensamble, se hicieron pruebas al prototipo tales como, detección de fugas en el sistema hidráulico, verificación de la alineación, nivelación de la estructura, avance y retroceso del cilindro en conjunto con la estructura móvil, y por último regulación de presión y velocidad en el sistema. Todo esto para poner en marcha el prototipo y proceder con la respectiva validación.

La obtención de los datos en los ensayos se implementó un sistema de video que enfoca simultáneamente los instrumentos para medir deformaciones y presiones, y el tipo de ensayo que se realiza.

### **2.1.3. Validación del prototipo**

Se validó el prototipo comparando los resultados de esfuerzo último de los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos en la maquina construida con aquellos obtenidos en la máquina universal de ensayos del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Antioquia.

En ambas máquinas se realizaron los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos con probetas estandarizadas. Para el caso de tensión y compresión se usaron tres probetas gemelas de aluminio, mientras que para el ensayo de flexión a tres puntos se utilizaron tres probetas gemelas de madera.

Se realizó un análisis estadístico para muestras pequeñas “t-Student”. Este análisis se usa para calcular la importancia de las diferencias observadas entre las medias de dos muestras cuando hay hipótesis nula que no hay diferencias significativas entre los medios. Para verificar que no existan diferencias entre los dos medios.

Se determinó el valor del estadístico t mediante la ecuación 12 (Walpole, Myers, & Myers, 1999):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}} \quad (12)$$

Donde:

$\bar{x}_1$  es la media del primer conjunto de datos,  $\bar{x}_2$  es la media del primer conjunto de datos,  $S_1^2$  es la desviación estándar del primer conjunto de datos,  $S_2^2$  es la desviación estándar del primer conjunto de datos,  $N_1$  es el número de elementos en el primer conjunto de datos y  $N_2$  es el número de elementos en el primer conjunto de datos.

Los resultados obtenidos se compararon con el valor medio de dos colas obtenido haciendo uso de la herramienta de Excel denominada análisis de datos, teniendo en cuenta que las dos muestras están relacionadas, es decir, cuando un sujeto es medido en dos condiciones diferentes, en este caso una probeta ensayada en dos máquinas universales diferentes; debiendo estar el estadístico t comprendido entre el valor negativo y positivo del valor medio de dos colas (Walpole, Myers, & Myers, 1999).



### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL PROTOTIPO

#### 3.1.1. Cálculo de la capacidad de la máquina

Teniendo en cuenta la ecuación 1:

$$F = \sigma_u * A$$

Se tiene:

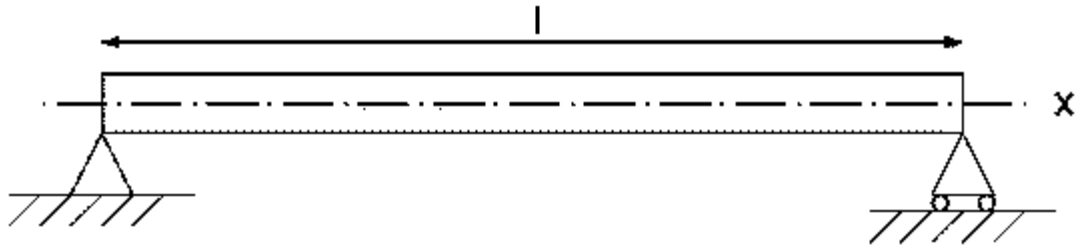
$$F = \left(700 * 10^6 \frac{N}{m^2}\right) * (\pi * (6,25 * 10^{-3})^2 m^2)$$

$$F = 86 \text{ KN}$$

Entonces teniendo en cuenta el valor máximo de  $F$ , se diseñará la máquina para una capacidad máxima de 100  $KN$ .

#### 3.1.2. Diseño de las vigas

En la figura 10, se observa el diagrama de cuerpo libre de las vigas.



**Figura 10. Representación vigas sometidas a flexión.**

*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

Se procede a realizar el cálculo del espesor, despejando  $I$  de la ecuación 3:

$$I = \frac{Mc}{\sigma}$$

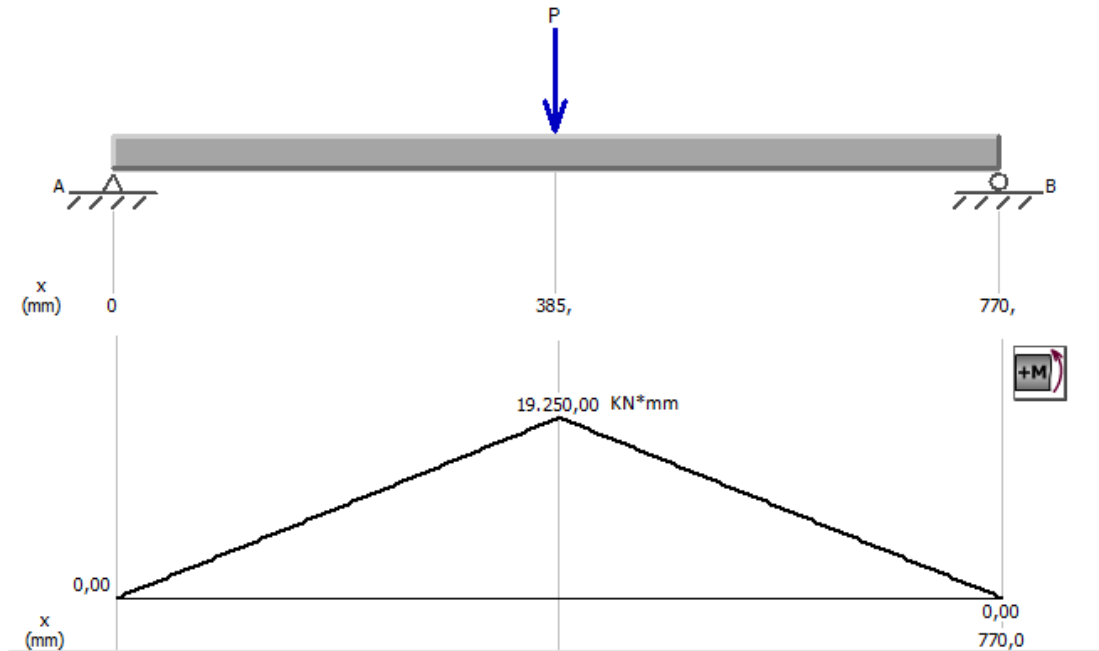
$$I = \frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{12}(b - 2e)(h - 2e)^3$$

Entonces:

$$\frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{12}(b - 2e)(h - 2e)^3 = \frac{Mc}{\sigma} \quad (13)$$

Antes de despejar el espesor, hallamos el momento máximo mediante el software

MdSolids:



**Figura 11. Diagrama de Momento flector de la viga.**

*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

En la figura 11, se observa que el momento máximo para la viga es de:

$$M = 19250 \text{ KN} * \text{mm} = 19250 \text{ N} * \text{m}$$

Despejando de la ecuación 13 el espesor, y reemplazando los valores nos queda que:

$$e = 3.16 \text{ mm}$$

Se procede a determinar la deflexión en la viga, mediante la ecuación 4:

$$y = \frac{(100 * 10^3)(0.77)^3}{48(200 * 10^9) \left\{ \frac{1}{12} [(0.12)(0.1524)^3 - (0.11365)(0.14605)^3] \right\}}$$

$$y = 0.644 \text{ mm}$$

Esta deflexión es muy grande, por lo tanto se hace lo mínima posible, de 0.1 mm, y con este valor se calcula la carga para que se de dicha deformación despejando la carga P de la ecuación 4.

$$P = \frac{48EIy}{L^3}$$

$$P = \frac{48(200 * 10^9)(5.89 * 10^{-6})(1 * 10^{-4})}{(0.77)^3}$$

$$P = 12.4 \text{ KN}$$

Mediante la ecuación 2, se determina el factor de seguridad ( $F_s$ ), para poder hallar la carga que nos garantice un espesor en la sección transversal de la viga y que la deflexión sea mínima.

$$F_s = \frac{100}{12.4}$$

$$F_s \approx 8$$

Entonces:

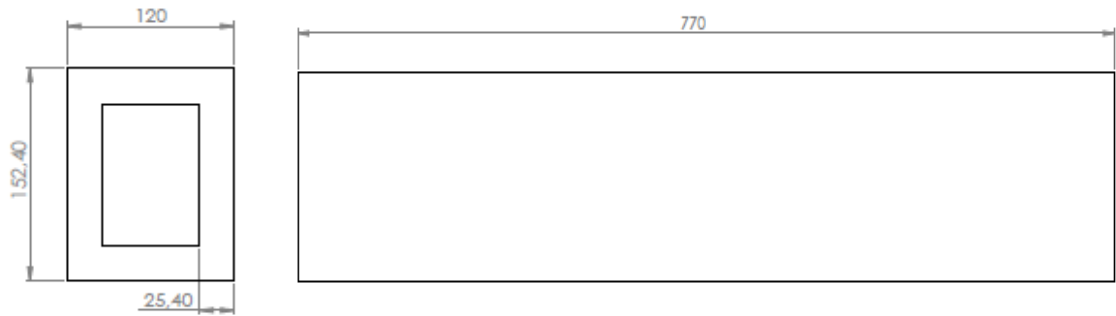
$$P = 8 * 100 \text{ KN}$$

$$P = 800 \text{ KN}$$

Se determina el nuevo espesor para la sección transversal de la viga y se obtiene un valor de:

$$e \approx 25.4 \text{ mm}$$

Las dimensiones finales de la viga son las que se muestran en la figura 12.

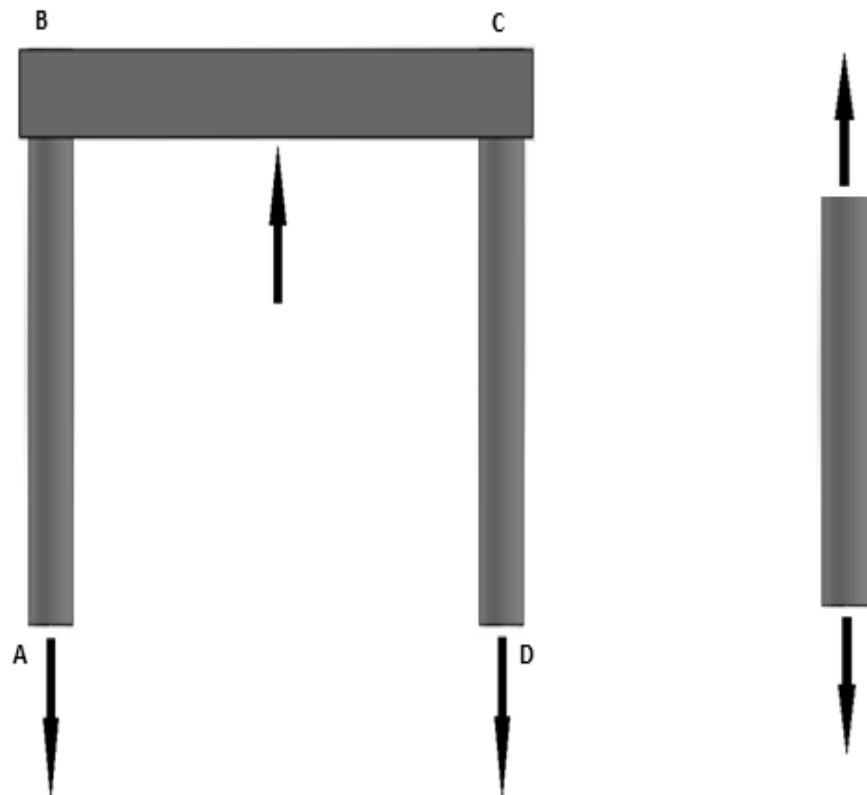


**Figura 12. Dimensiones finales de la viga.**  
*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

### 3.1.3. Diseño de las barras

#### 3.1.3.1. Barras fijas

En la figura 13, se observa el diagrama de cuerpo libre de las barras fijas.



**Figura 13. Barras fijas.**  
*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

Se determina el diámetro de las barras fijas despejando r, de la ecuación 5:

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi * \sigma_F}}$$

$$r = \sqrt{\frac{50 * 10^3}{\pi * 250}}$$

$$r = 7,98 \text{ mm}$$

Se halla la deformación que van a tener, de acuerdo a la ecuación 6, entonces:

$$\rho = \frac{50 * 1000 \text{ N} * 600 \text{ mm}}{\pi * (7,98 \text{ mm})^2 * 200000 \text{ N/mm}^2}$$

$$\rho = 0,75 \text{ mm}$$

Se desea que la deformación en las barras sea lo menor posible, por lo tanto se hace que esta tienda a 0,1 mm, luego de la ecuación 5, se despeja la carga admisible para que la deformación sea la deseada, y luego proceder a realizar el cálculo respectivo para la determinación de un factor de seguridad.

$$P = \frac{\rho * A * E}{L}$$

$$P = \frac{0,1 \text{ mm} * \pi * (7,98 \text{ mm})^2 * 200000 \text{ N/mm}^2}{600 \text{ mm}}$$

Entonces:

$$P = 6,67 \text{ KN}$$

Para este caso la carga máxima es de 50 *KN* y la carga admisible es la obtenida anteriormente.

$$F_s = \frac{50}{6,67} = 7,5$$

El diámetro final de las barras fijas es:

$$r = \sqrt{\frac{F_s * F}{\pi * \sigma_F}}$$

$$r = \sqrt{\frac{7,5 * 50 * 1000 \text{ N}}{\pi * 250 \text{ N/mm}^2}}$$

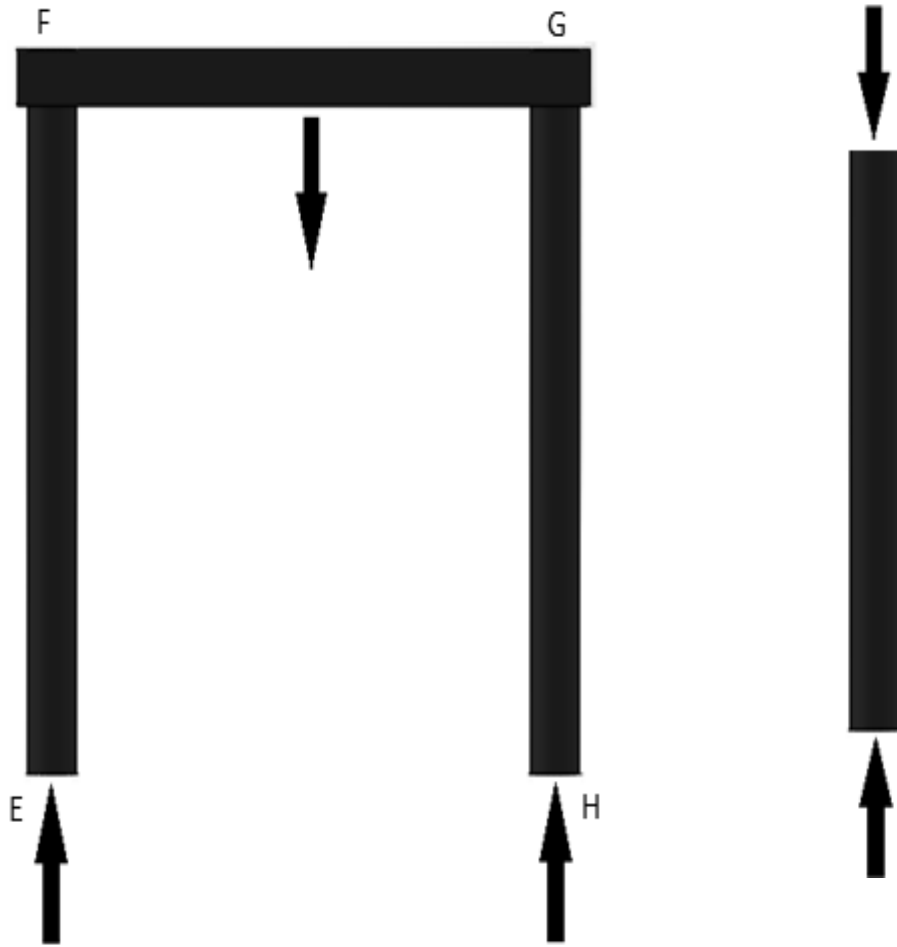
$$r = 21,86 \text{ mm}$$

$$D = 43,7 \text{ mm}$$

Comercialmente se encuentran diámetros de 50,8 *mm*.

### **3.1.3.2. Barras móviles**

En la figura 14, se observa el diagrama de cuerpo libre de las barras móviles.



**Figura 14. Barras móviles.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

Se calcula la razón de esbeltez (SR) con la ecuación 7

Antes se calcula  $r_g$  mediante la ecuación 14.

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (14)$$

Donde I es el momento de inercia y A es el área ambas de la sección transversal de la columna, nos queda que:

$$r_g = \sqrt{\frac{r^2}{4}}$$



$$r_g = \frac{r}{2}$$

El radio para estas barras será de 25.4 mm igual al de las barras fijas, entonces:

$$r_g = \frac{25.4}{2}$$

$$r_g = 12.7 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$SR = \frac{475}{12.7}$$

$$SR = 37.4$$

Ahora se calcula la relación de esbeltez de transición (Cc) aplicando la ecuación 8:

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200 * 10^3}{250}}$$

$$Cc = 125.7$$

Luego:

$$SR = 37.4 < Cc = 125.7$$

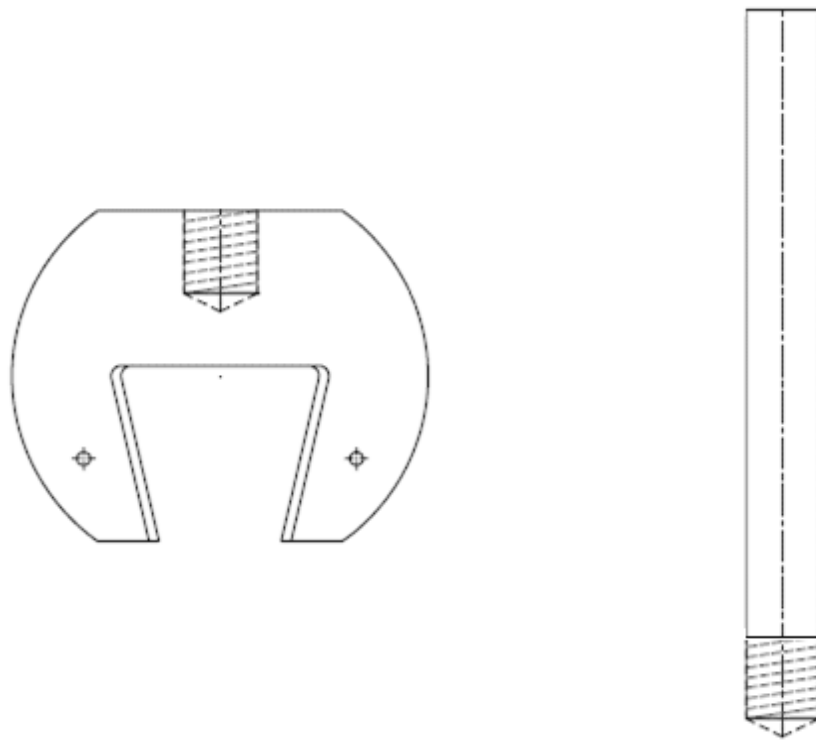
Como la columna es corta, se determina la carga crítica mediante la ecuación 9.

$$P_{cr} = (2.03 * 10^{-3})(250 * 10^6) \left\{ 1 - \left[ \frac{(250 * 10^6) \left( \frac{475}{12.7} \right)^2}{4\pi^2 (200 * 10^9)} \right] \right\}$$

$$P_{cr} = 485 \text{ KN} > 100 \text{ KN}$$

### 3.1.4. Diseño de las mordazas de sujeción para el ensayo a tensión

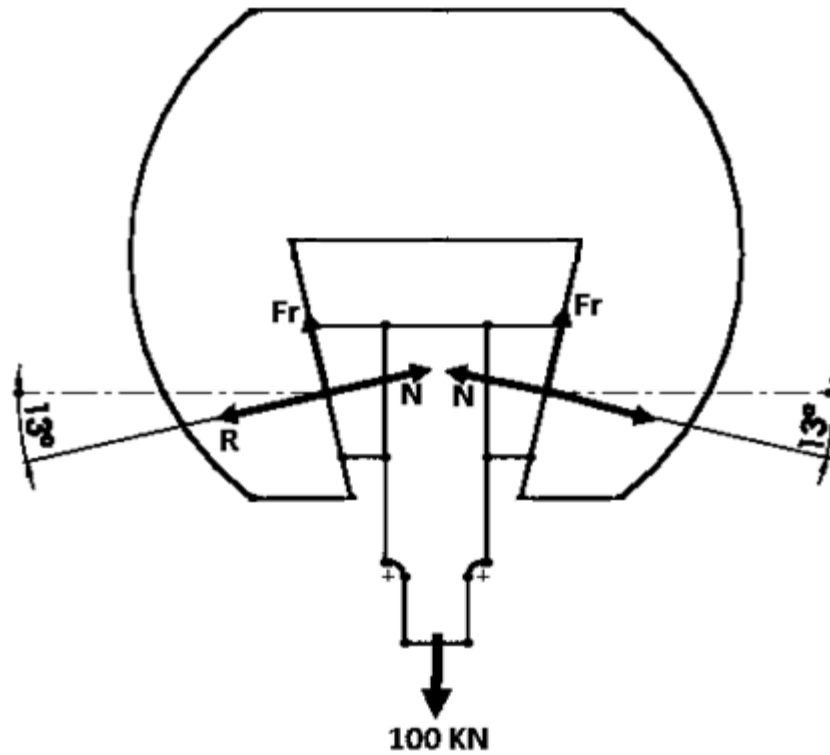
Para la construcción de las mordazas se debe considerar una geometría simple, sin partes que dificulten los procesos de manufactura. Por lo tanto para el análisis de esfuerzos se ha considerado utilizar una forma circular para utilizar la curvatura como refuerzo en los puntos críticos, además las mordazas van a contar con un tornillo para la respectiva fijación al prototipo de la máquina dicho tornillo deberá tener una longitud un poco mayor a la altura de las vigas tipo cajón antes determinadas. En la figura 15, se observa el diseño de la mordaza, lo que se hará es determinar el espesor y para el tornillo de sujeción se determinará el diámetro correspondiente para que no fallen al momento de realizar el ensayo a tensión.



**Figura 15. Diseño final de las mordazas.**  
*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

❖ Cálculo del espesor de la mordaza

En la figura 16, se observa el diagrama de cuerpo libre de las mordazas.



**Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de las mordazas.**

*Tomada de: Elaboración propia, 2015.*

Para este caso se utiliza un factor de seguridad de 1.5. Realizando el respectivo análisis de fuerzas, se tiene que:

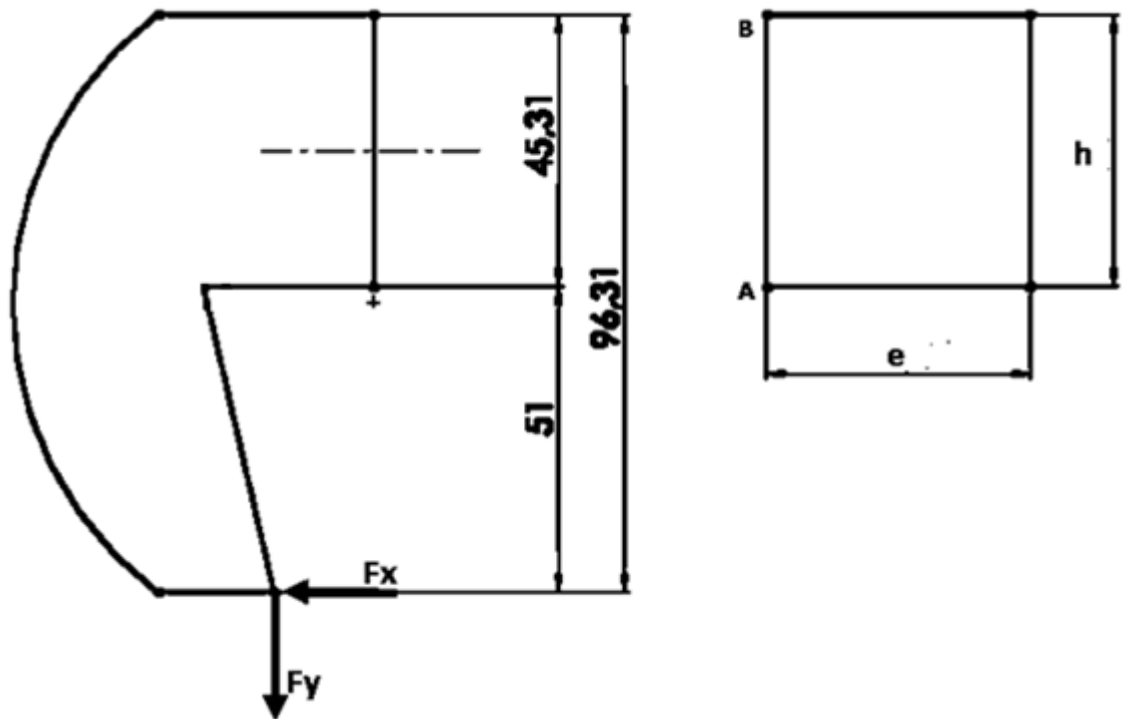
$$R = 79.26\text{ kN}$$

Haciendo la descomposición de la fuerza:

$$F_x = 71.92\text{ kN}$$

$$F_y = 33.89\text{ kN}$$

Luego haciendo el análisis de esfuerzos en los puntos A y B de la figura 17:



**Figura 17. Análisis por carga axial excéntrica en un plano de simetría.**

*Tomada de: Mecánica De Materiales Ferdinand P. Beer, 5ª Edición.*

$$\sigma_A = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} > \sigma_B = \frac{P}{A} - \frac{Mc}{I}$$

Donde:

- ❖ Las mordazas se harán en material AISI 1045, por lo tanto:

$$\sigma_A \leq 310 \text{ MPa}$$

- ❖ El área de la sección transversal es:

$$A = 45.31 * e \text{ mm}^2$$

- ❖ La carga P que produce momento flector es:

$$F_x = 71.92 \text{ KN}$$

❖ El momento máximo será:

$$M = F_x * d$$

$$M = 71.92 * 73.7$$

$$M = 5300.5 \text{ KN} * \text{mm}$$

❖ El momento de inercia:

$$I = \frac{1}{12} e * (47.80)^3 \text{ mm}^4$$

Entonces:

$$310 = \frac{71.92 * 10^3}{45.31 * e} + \frac{5300.5 * 10^3 * 22.65}{\frac{1}{12} e * (45.31)^3}$$

$$310 = \frac{1}{e} (1587.3 + 15487.6)$$

$$e = 50.08 \text{ mm}$$

Comercialmente se encuentran espesores de 50,8 mm.

Para el cálculo del tornillo de sujeción de las mordazas, se tiene en cuenta una longitud  $L = 203.2 \text{ mm}$  y se diseñara en el mismo material de las mordazas AISI 1045, con una carga aplicada  $P = 100 \text{ kN}$ , entonces despejando el radio de la ecuación 5:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi * \sigma_F}}$$

$$r = \sqrt{\frac{100 * 10^3}{\pi * 310}}$$

$$r = 10.13 \text{ mm}$$

$$D = 20,26 \text{ mm}$$

Comercialmente se encuentran diámetros de 22.225 mm. Ahora se determina la deformación del elemento para el radio obtenido mediante la ecuación 6:

$$\rho = \frac{100 * 10^3 * 203.2}{\pi * (11,1125)^2 * 200 * 10^3}$$

$$\rho = 0.262 \text{ mm}$$

Se desea que la deformación sea lo menor posible, por esta razón se hace que tienda a 0,1 mm, de la ecuación 5 se despeja la carga admisible para que la deformación sea la esperada, y luego proceder a realizar el cálculo para la determinación del factor de seguridad. Entonces:

$$P = \frac{\rho * A * E}{L}$$

$$P = \frac{0,1 \text{ mm} * \pi * (11,1125 \text{ mm})^2 * 200 \text{ KN/mm}^2}{203,2 \text{ mm}}$$

$$P = 38,18 \text{ KN}$$

Entonces:

$$F_s = \frac{100}{38,18} = 2,62$$

El nuevo diámetro que se obtiene es:

$$r = \sqrt{\frac{2,62 * 100 * 10^3 \text{ N}}{\pi * 310 \text{ N/mm}^2}}$$

$$r = 16,4 \text{ mm}$$

$$D = 32,8 \text{ mm}$$

Comercialmente se encuentran diámetros de 38,1 mm.

### 3.1.5. Cálculo y selección del sistema hidráulico

#### 3.1.5.1. Cálculo y selección del cilindro hidráulico.

Se determina el diámetro correspondiente al pistón del cilindro de acuerdo a la ecuación 10.

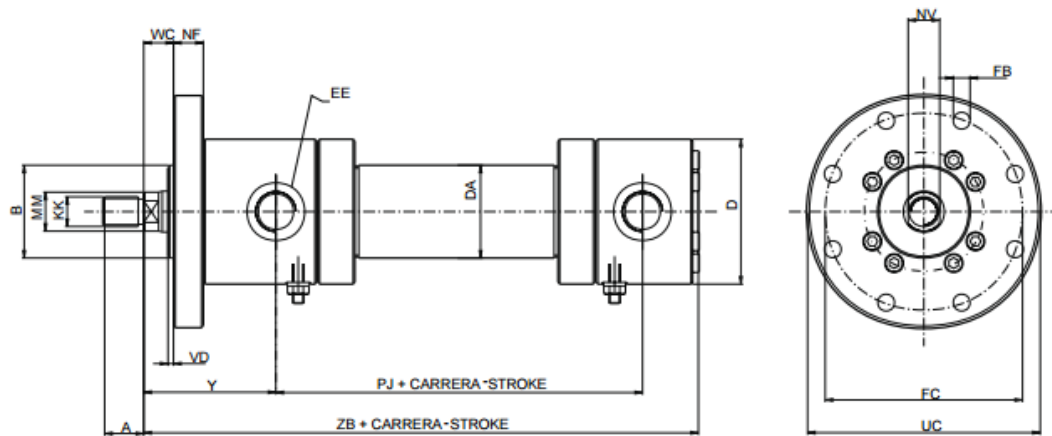
$$D_P = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}}$$

$$D_P = \sqrt{\frac{4 * 100 * 10^3 \text{ N}}{\pi * 10000 * 10^3 \text{ N} * m^{-2}}}$$

$$D_P = 0,113 \text{ m}$$

$$D_P = 113 \text{ mm}$$

De acuerdo al catálogo de cilindros hidráulicos FERJOVI, se selecciona un cilindro con flanche delantero el cual corresponde a la designación MF3 del catálogo y que tenga un diámetro de pistón igual a 125 mm, para este se tienen diámetros de 70 mm y 90 mm para el vástago, como se muestra en la figura 18:



PISTON BORE	MM	A	B <sub>16</sub>	D	DA	EE	FB <sub>H13</sub>	FC <sub>Js13</sub>	KK	NF	NV	PJ	UC	VD	WC	Y	ZB
25	14	16	32	56	35	1/4"G	6,6	75	M12x1.25 M14x1.5	12	12 15	77	90	3	16	58	155
	18	18															
	22	22															
32	18	18	40	67	42	3/8"G	9	92	M14x1.5 M16x1.5	16	15 17	89	110	3	16	64	176
	22	22															
	28	28															
40	22	22	50	78	50	1/2"G	9	106	M16x1.5 M20x1.5	16	17 22	97	125	3	16	71	198
	28	28															
	36	36															
50	28	28	60	95	60	1/2"G	11	126	M20x1.5 M27x2	20	22 28	111	148	4	18	72	213
	36	36															
	45	45															
63	36	36	70	116	75	3/4"G	13,5	145	M27x2 M33x2	25	28 36	117	170	4	20	82	234
	45	45															
	56	56															
80	45	45	85	130	95	3/4"G	17,5	165	M33x2 M42x2	32	36 46	134	195	4	22	91	260
	56	56															
	70	70															
100	56	56	106	158	115	1"G	22	200	M42x2 M48x2	32	46 60	162	238	5	25	108	310
	70	70															
	90	90															
125	70	63	132	192	145	1"G	22	235	M48x2 M64x3	32	60 75	174	272	5	28	121	335
	90	85															
	110	95															
160	90	85	160	232	185	1 1/4"G	22	280	M64x3 M80x3	36	75 90	191	316	5	30	143	380
	110	95															
	140	112															
200	110	95	200	285	230	1 1/4"G	26	340	M80x3 M100x3	40	90 120	224	385	5	35	190	474
	140	112															
	180	125															
250	140	112	250	365	298	1 1/2"G	33	420	M100x3 M125x4	56	120 160	290	500	8	40	205	580
	180	125															
	250	180															

**Figura 18. Cilindro hidráulico seleccionado.**  
Tomada de: Catálogo de cilindros hidráulicos FERJOVI.

Para determinar que diámetro de vástago se requiere para que no ocurra pandeo a la hora de aplicar la carga, se calcula la longitud entre fijaciones L, así:

$$L = ZB + CARRERA$$

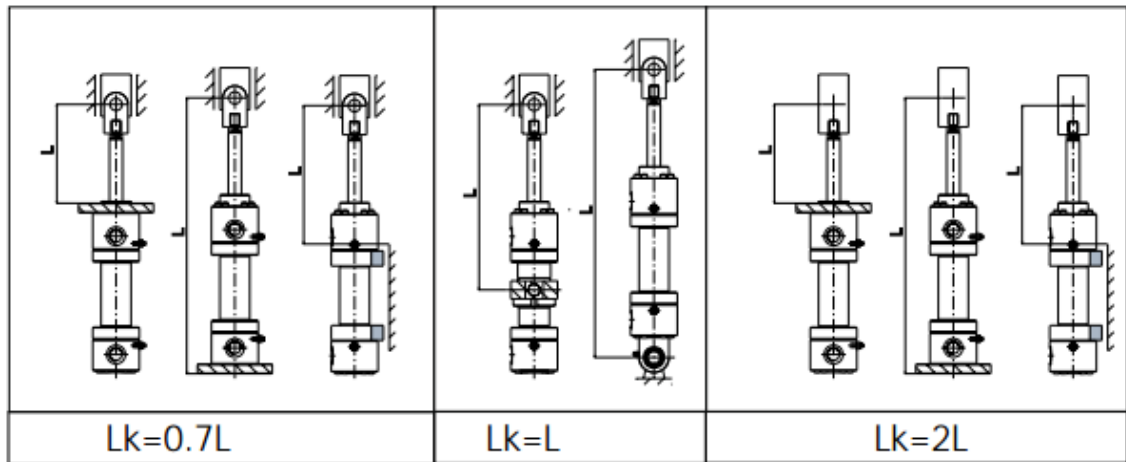
Donde ZB se obtiene de la figura anterior para el diámetro de pistón seleccionado, luego:

$$L = 335 \text{ mm} + 250 \text{ mm}$$

$$L = 585 \text{ mm}$$



De acuerdo a este dato y al tipo de fijación que se muestra en la figura 19, se encuentra el valor de  $L_k$ :



**Figura 19. Tipo de fijación del cilindro hidráulico.**  
Tomada de: Catálogo de cilindros hidráulicos FERJOVI.

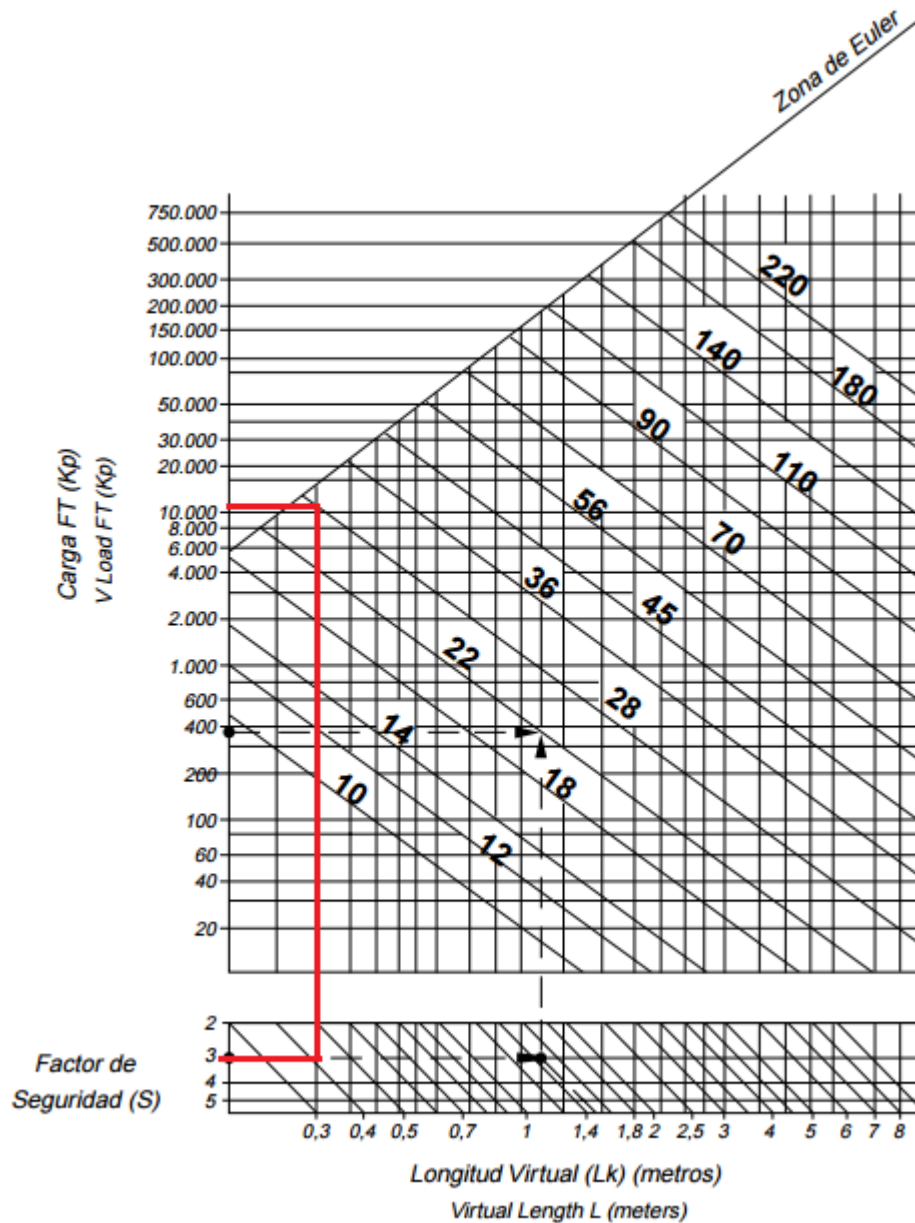
Como ya se mencionó el tipo de fijación es con flanche superior, entonces:

$$L_k = 0,7L$$

$$L_k = 0,7 * (585 \text{ mm})$$

$$L_k = 409,5 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

Con los valores de  $L_k$ , la fuerza máxima a aplicar en kilopondios ( $100 \text{ kN} = 10200 \text{ kP}$ ) y un factor de seguridad de 3, se determina el mínimo diámetro para el vástago mediante la figura 20:



**Figura 20. Determinación del diámetro del vástago.**  
*Tomada de: Catálogo de cilindros hidráulicos FERJOVI.*

El diámetro mínimo para el vástago se de 28 mm, por tal motivo se escoge el diámetro de 70 mm para el cilindro seleccionado.

Por último para el movimiento de avance y retroceso del cilindro se usa una válvula direccional 4/3 con accionamiento manual. En la figura 21 y en la tabla 2, se observa la válvula y los datos técnicos de esta respectivamente.



**Figura 21. Válvula 4/3 vías seleccionada.**  
*Tomada de: catálogo de válvulas hidráulicas FESTO.*

**Tabla 2. Datos técnicos de la válvula seleccionada.**

Datos técnicos					
en general					
Masa		kg	aprox. 1,4		
Posición de montaje			Arbitraria		
Rango de temperatura ambiente		°C	-30 ... +80 (juntas NBR) -20 ... +80 (juntas FKM)		
hidráulico					
Máxima presión de servicio	- Conexión A, B, P	bar	315	Con símbolo A o B, la conexión T se tiene que utilizar como conexión de aceite de fuga si la presión de servicio es superior a la presión de depósito admisible. <b>Es necesaria una presión de pretensión mínima de 2 bar.</b>	
	- Conexión T	bar	100		
Caudal máximo		l/min	60		
Sección de flujo	- Símbolo de émbolo Q		6% de la sección nominal		
	- Símbolo de émbolo W		3% de la sección nominal		
Fluido hidráulico			Aceite mineral (HL, HLP) según DIN 51524 <sup>1)</sup> ; fluidos hidráulicos rápidamente biodegradables según VDMA 24568 (ver también RS 90221); HETG (aceite de colza <sup>1)</sup> ; HEPG (poliglicoles) <sup>2)</sup> ; HEES (ésteres sintéticos) <sup>2)</sup> ; HFC según ISO 12922 <sup>3)</sup> ; otros fluidos hidráulicos a petición		
Margen de temperatura del fluido hidráulico		°C	-30 ... +80 (juntas NBR) -20 ... +80 (juntas FKM)		
Rango de viscosidad		mm²/s	2,8 ... 500		
Grado de ensuciamiento máximo admisible del fluido hidráulico clase de pureza según ISO 4406 (c)			Clase 20/18/15 <sup>4)</sup>		

*Tomada de: catálogo de válvulas hidráulicas FESTO.*

### 3.1.5.2. Cálculo y selección de la bomba

Para realizar la selección de la bomba, se determina el caudal mediante la ecuación 11, teniendo en cuenta la velocidad máxima para los ensayos.

$$Q = \frac{\pi * (125 \text{ mm})^2}{4} * 5 \text{ mm} * \text{min}^{-1}$$

$$Q = 61359,23 \text{ mm}^3 * \text{min}^{-1}$$

$$Q = 0,061359 \text{ Lt} * \text{min}^{-1}$$

Con este valor se verifica en el catálogo de bombas hidráulicas ROQUET, cual es la ideal.

En la tabla 3, se muestra la bomba seleccionada:

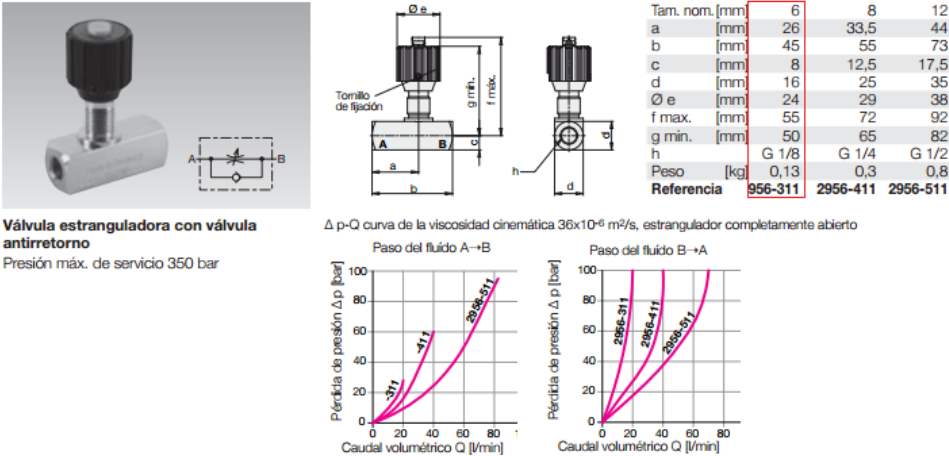
**Tabla 3. Bomba de engranes seleccionada.**

CAUDAL BOMBA PUMP FLOW RATE	(L/min.) 1500 R.P.M.	1,5	3	5	7,5	10
CILINDRADA DISPLACEMENT	cm <sup>3</sup> /v cc/r.	1	2	3,3	5	6,6
PRESION MAX. CONTINUA EN CONT. MAX. PRESSURE	bar	275	240	185	135	
PRESION MAX. INTER. 5 SEG. MAX. INTERMITENT MAX. PRESSURE	bar	300	275	200	150	
R.P.M. A PRESION CONTINUA R.P.M. AT CONT. PRESSURE		5.000	4000	3.000		
R.P.M. MAXIMAS MAX. R.P.M.		6.000	5.000	4.000	3.000	
MINIMAS R.P.M. SEGUN PRESION MIN. R.P.M. AT GIVEN PRESSURES	100 bar	1.000	750	500		
	175 bar	1.500	1.250	1.000	+	
	250 bar	2.000	1.750	1.500	+	+
	300 bar	3.000	2.000	+	+	+

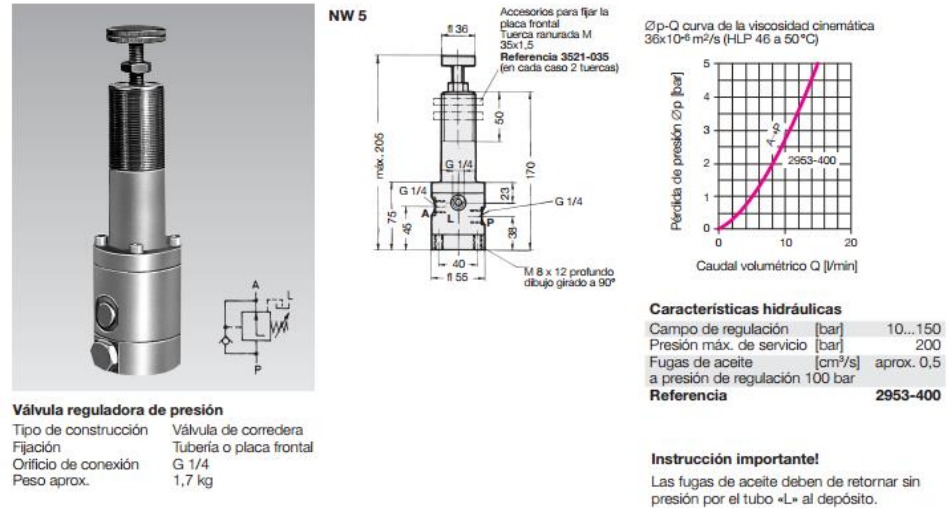
Tomada de: (ROQUET, 2000).

Como se logra observar en la tabla anterior la bomba suministra un caudal mayor al requerido para el prototipo en cuestión, por lo tanto se usa una válvula reguladora de

caudal. Para la protección del sistema se usa una válvula limitadora de presión. En las figuras 22 y 23 se observan los datos técnicos de las dos válvulas.

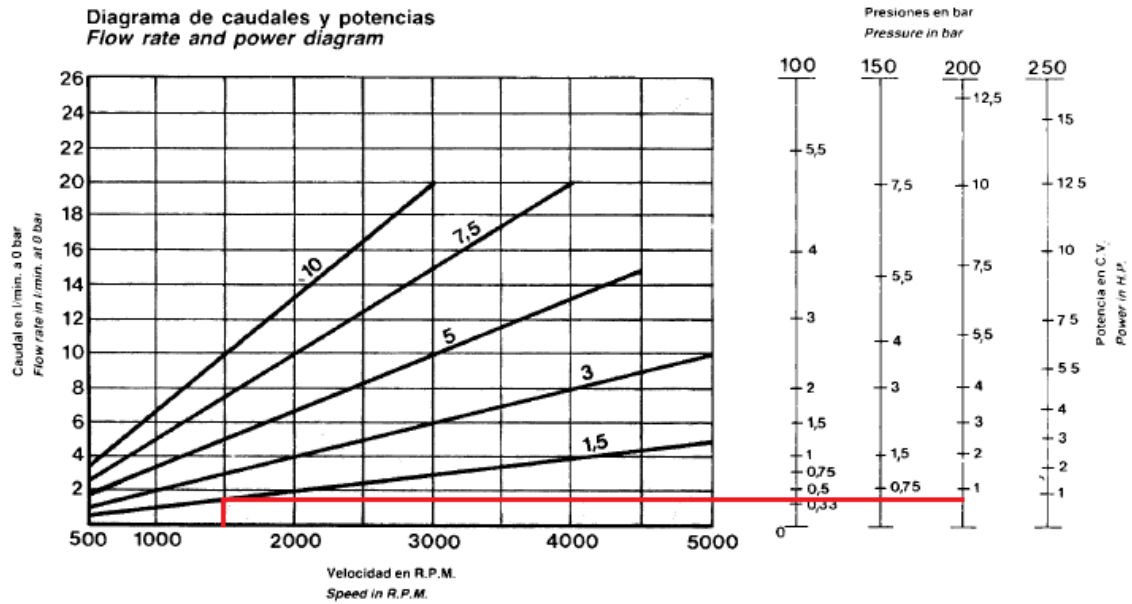


**Figura 22. Válvula limitadora de caudal.**  
Tomada de: (STARK, 2015).



**Figura 23. Válvula reguladora de presión.**  
Tomada de: (STARK, 2015)

Por último se determina la capacidad del motor, como se observa en la figura 24.

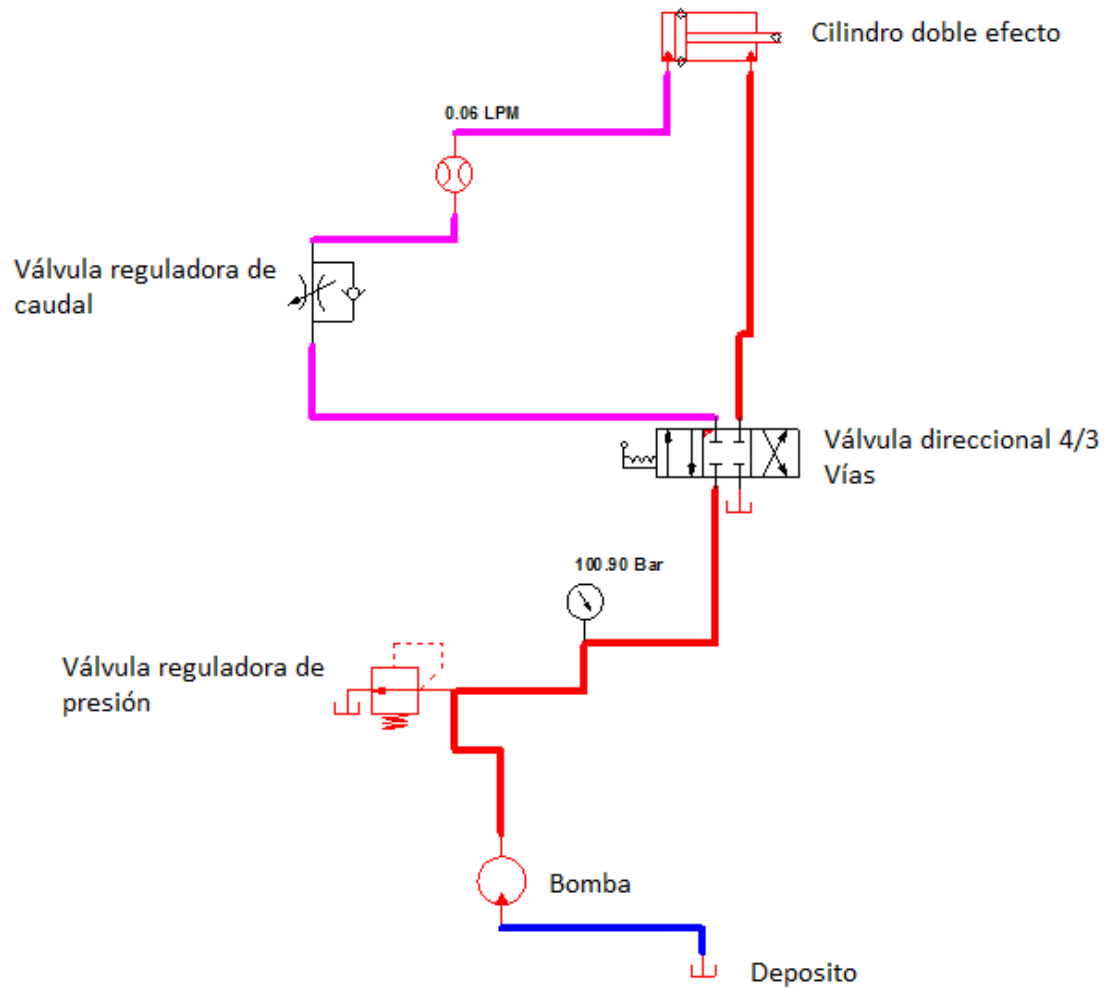


**Figura 24. Potencia del motor eléctrico.**  
*Tomada de: (ROQUET, 2000)*

La potencia del motor debe ser aproximadamente de 745,7 Watts.

### 3.1.5.3. Diagrama del sistema hidráulico

En la figura 25, se presenta el diagrama del circuito hidráulico.



**Figura 25. Diagrama del circuito hidráulico.**  
*Tomada de: elaboración propia, Automation studio 5.0, 2015.*

### 3.2. CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO

Esta etapa hace referencia a todos los procesos de manufactura que se llevaran a cabo para obtener cada uno de los elementos del sistema y completar el acondicionamiento de la máquina, la cual estará apta para realizar los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos.

Para llevar a cabo la construcción y el montaje de cada una de las partes que conformaran la estructura, se deben tener en cuenta todos los planos de construcción (ver anexo A1) los cuales contienen todas las dimensiones de los elementos antes diseñados.

### 3.2.1. Construcción de las vigas tipo cajón

Inicialmente se llevó a cabo la adquisición del material según las dimensiones establecidas en plano. Paso siguiente se realizó un estaje a las placas verticales haciendo uso del equipo de oxicorte, mientras que a las placas horizontales se les realizó las perforaciones de 50,8 mm donde se fijarán las barras y finalmente se realiza un proceso de soldadura MIG (Metal Inert Gas) para obtener la viga en forma de cajón.



a)



b)



c)



d)

**Figura 26. a) Material de 25,4 mm de espesor. b) Estaje de las placas verticales. c) Perforación de las placas horizontales para la fijación de las barras. d) Proceso de soldadura MIG para la unión de las partes.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*



### 3.2.2. Construcción de las barras fijas y móviles

Para la construcción de las barras fijas y móviles, se dio paso inicialmente a la adquisición de 4 barras con diámetro de 50,8 mm, dos con una longitud de 600 mm y las dos restantes con una longitud de 950 mm, luego se llevó a cabo la perforación de cada una de las barras en sus extremos con un diámetro de 16,6 mm y una profundidad de 60 mm. Finalmente se realizó el proceso de machuelado en los extremos de las barras para obtener una rosca 19,05 mm con el fin de fijarlas por medio de tornillos a las vigas tipo cajón.



a)



b)



c)

**Figura 27. a) Barras de 50,8 mm de diámetro con longitudes de 600 mm y 950 mm. b) Perforación de las barras. c) Machuelado de las barras.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

### 3.2.3. Construcción de la mesa

Se compró primero los perfiles en U de 101,6 mm x 25,4 mm para construir la estructura de la mesa y una lámina de 25,4 mm de espesor para construir la placa soporte de la mesa.

Y se aplicó el proceso de soldadura MIG para la unión de las partes anteriores.

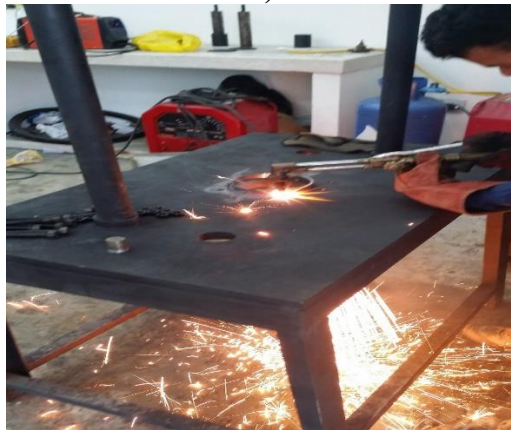
Posteriormente se hizo perforaciones de 12.7 mm a la placa soporte, además un orificio con el diámetro exterior del cilindro hidráulico a través del proceso de oxicorte, con el fin de fijarlo.



a)



b)



c)



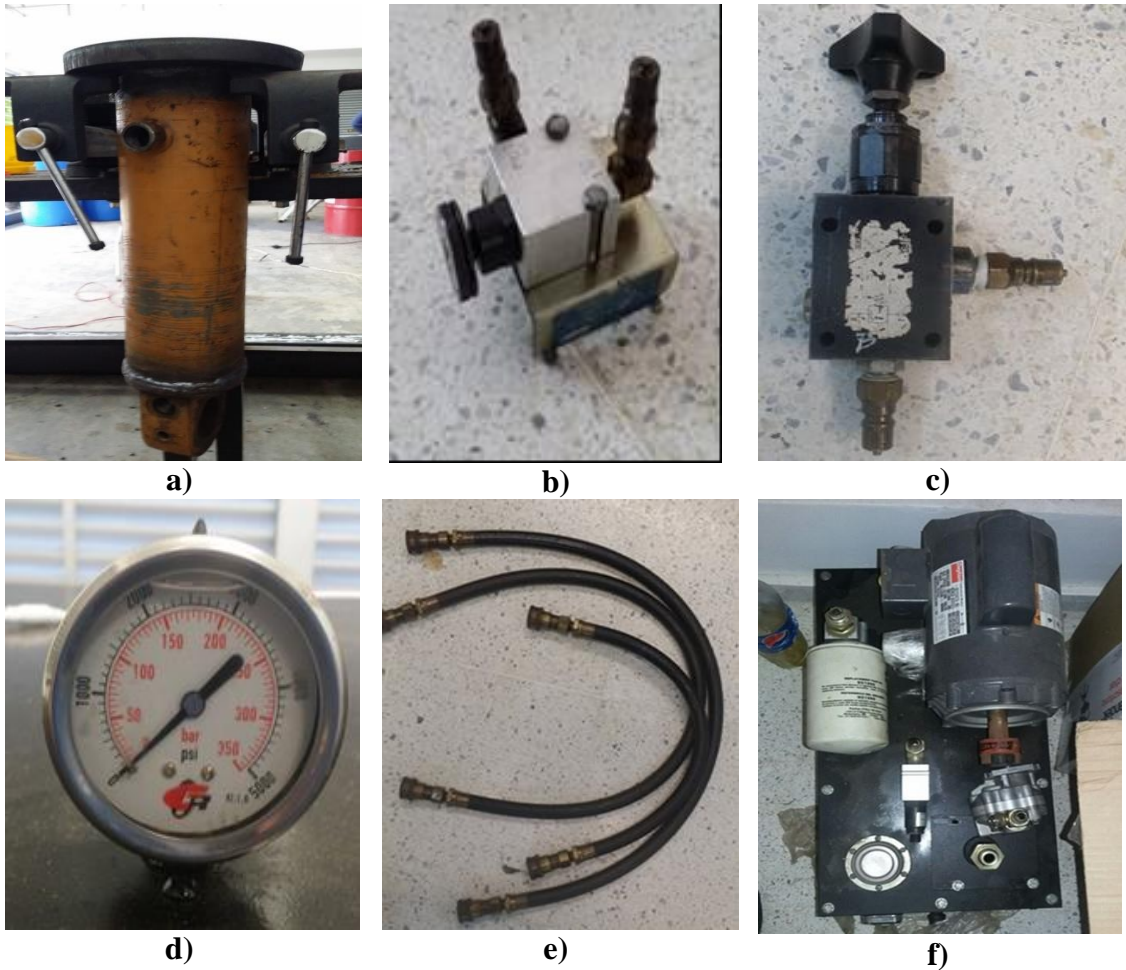
d)

**Figura 28. a) Corte y soldadura de los perfiles en U para la mesa. b) Fijación de la placa base a la mesa. c) Perforación de la placa base con oxicorte. d) Perforaciones a la placa base para la fijación del cilindro.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

### 3.2.4. Montaje del circuito hidráulico

Inicialmente se obtuvo todos los accesorios necesarios para el montaje como lo son: el cilindro hidráulico, bomba, motor eléctrico, reservorio, filtro, mangueras, válvula reguladora de caudal, válvula reguladora de presión, válvula 4/3 vías con accionamiento manual, manómetros y demás elementos.



**Figura 29. a) Cilindro hidráulico. b) Válvula reguladora de caudal. c) Válvula limitadora de presión. d) Manómetro. e) Mangueras. f) Unidad de potencia hidráulica: bomba, motor eléctrico, filtro y reservorio.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*



Luego de tener todos los elementos se realizó la fijación del cilindro hidráulico con flanche superior a la mesa por medio de tornillos, posteriormente se llevó a cabo el ensamble de la unidad de potencia hidráulica (motor eléctrico, bomba hidráulica, reservorio y filtro).

Se conectaron las mangueras e instrumentos de medición y control necesarios para el sistema hidráulico, en una mesa construida previamente.

Se vierte el aceite hidráulico al reservorio, y se colocó en marcha el sistema; se verificó la existencia de fugas, las cuales se corrigieron haciendo uso de un sellante hidráulico (teflón líquido) y por último se hicieron pruebas de avance y retroceso del cilindro a diferentes velocidades.



**Figura 30. Circuito hidráulico del prototipo.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

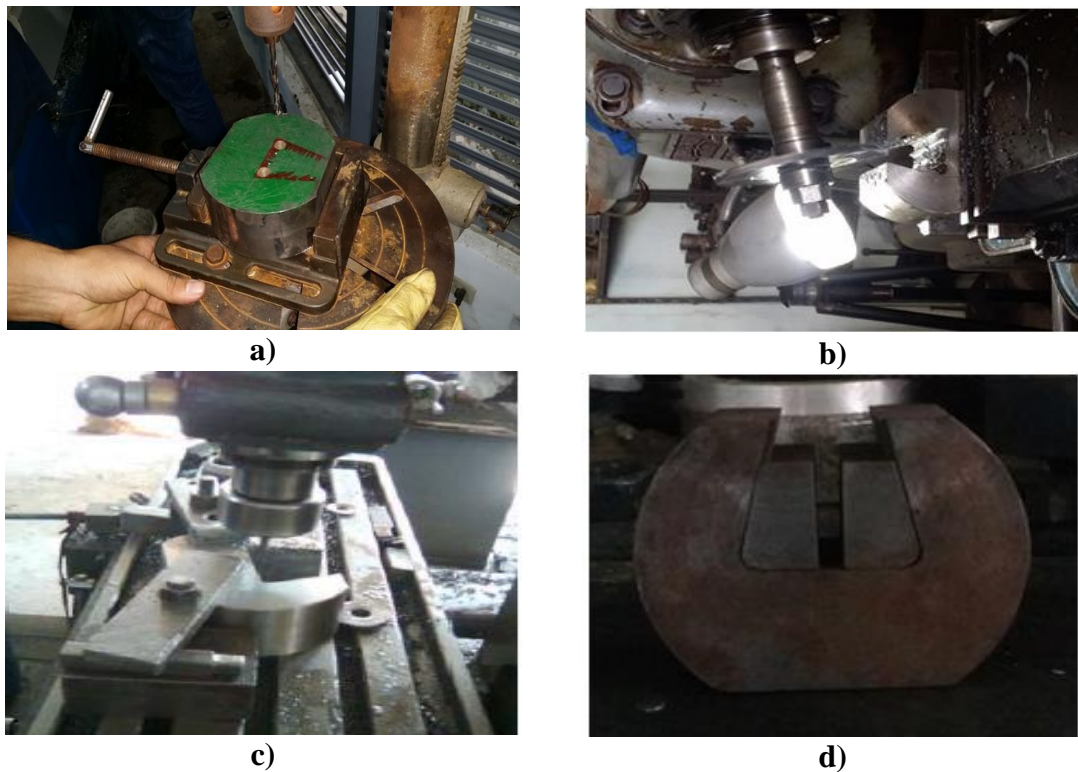
### **3.2.5. Accesorios para los ensayos**

#### **3.2.5.1. Construcción de las mordazas para el ensayo a tensión**

La construcción de las mordazas se hizo de la siguiente forma:

- ❖ Adquisición de dos bloques de 127 mm de diámetro con 50,8 mm de espesor.

- ❖ Se procede a realizar el desbaste de material para obtener las dimensiones deseadas, por medio de los procesos de taladrado, corte con sierra sin fin, fresado y cepillado.
- ❖ Luego se hace el proceso de perforación en uno de los lados planos de cada bloque, para por medio del proceso de torneado obtener una rosca y así por medio de un tornillo de 254 mm de largo fijar las mordazas al prototipo.
- ❖ Se realizó la construcción de las muelas de sujeción para las mordazas, se obtuvo la geometría estipulada a través de los procesos de cepillado, fresado y haciendo uso del amortajador se hicieron las ranuras de incrustación de las muelas con un paso de 2,5 mm, y finalmente se les hizo un temple a 840°C enfriado en agua, con el fin de mejorarle la dureza.



**Figura 31. a) Taladrado. b) Amortajado. c) Fresado. d) Bloque mordazas.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

### 3.2.5.2. Accesorio para el ensayo de compresión

El accesorio para ensayos de compresión fue construido en barras circulares de 76,2 mm, bajo especificaciones en plano.



**Figura 32. Accesorio para el ensayo de compresión.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

### 3.2.5.3. Accesorio para el ensayo de flexión

Se realizó la compra del accesorio para los ensayos de flexión a tres puntos de una máquina universal de ensayos fuera de uso.



**Figura 33. Accesorio para ensayo de flexión a tres puntos.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

### 3.2.6. Montaje del sistema de video

Para la obtención de los datos durante la realización de los ensayos, se instaló un sistema de video que consta de tres cámaras, las cuales están ubicadas de la siguiente manera:

- ❖ Una ubicada sobre la mesa del sistema hidráulico, enfocando el manómetro que registra la presión de trabajo del cilindro.
- ❖ Para la ubicación de las dos cámaras restantes fue necesario la construcción una estructura metálica; una quedo enfocando el comparador de caratulas el cual registrara la deformación o deflexión dependiendo del tipo de ensayo y la otra enfoca la probeta.

Además este sistema cuenta con una unidad de almacenamiento y un monitor para la visualización del registro de las cámaras.



**Figura 34. Sistema de video.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

### **3.3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO**

En la figura 35, se observan las maquinas utilizadas para la realización de los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos.



(a)



(b)

**Figura 35. (a) Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia; (b) Prototipo construido.**

*Tomada: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

Los resultados de los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos se observan en las tablas 4, 5 y 6 respectivamente (Ver en el anexo B, la realización de los ensayos).

**Tabla 4. Resultados obtenidos en el ensayo de tensión para máquina patrón y máquina construida.**

Probeta	Esfuerzo último máquina patrón (MPa)	Esfuerzo último máquina construida (MPa)	% Error relativo
1	222,12	224,01	0,85 %
2	219,41	220,28	0,39 %
3	221,48	225,53	1,83 %

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

**Tabla 5. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión para máquina patrón y máquina construida.**

Probeta	Esfuerzo último máquina patrón (MPa)	Esfuerzo último máquina construida (MPa)	% Error relativo
1	295,39	299,35	1,34 %
2	294,93	294,62	0,11 %
3	296,10	299,35	1,09 %

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*



**Tabla 6. Resultados obtenidos en el ensayo de flexión a tres puntos para máquina patrón y máquina construida.**

<b>Probeta</b>	<b>Esfuerzo último máquina patrón (MPa)</b>	<b>Esfuerzo último máquina construida (MPa)</b>	<b>% Error relativo</b>
1	69,7	68,92	1,12 %
2	70,09	69,87	0,31 %
3	69,96	69,21	1,07 %

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se aprecia que el porcentaje de error existente entre los datos obtenidos en ambos equipos no supera el 2%.

Por otro lado en las tablas 7, 8 y 9, se muestra el análisis estadístico para los resultados de los ensayos de tensión, compresión y flexión a tres puntos respectivamente.

**Tabla 7. Análisis t-Student para los dos muestras.**

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	221,003333	223,273333
Varianza	2,00643333	7,29763333
Observaciones	3	3
Coeficiente de correlación de Pearson	0,8712454	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-2,4214797	
P(T<=t) una cola	0,06824127	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,13648254	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

*Tomada de: Análisis de datos para dos muestras emparejadas en Excel; elaboración propia, 2015.*

**Tabla 8. Análisis t-Student para los dos muestras.**

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	295,473333	297,773333
Varianza	0,34743333	7,45763333
Observaciones	3	3
Coeficiente de correlación de Pearson	0,79829101	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-1,74110905	
P(T<=t) una cola	0,11189527	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,22379054	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

*Tomada de: Análisis de datos para dos muestras emparejadas en Excel; elaboración propia, 2015.*

**Tabla 9. Análisis t-Student para los dos muestras.**

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	69,91666667	69,3333333
Varianza	0,03943333	0,23703333
Observaciones	3	3
Coeficiente de correlación de Pearson	0,916598101	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	3,207366814	
P(T<=t) una cola	0,042498904	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,084997808	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

*Tomada de: Análisis de datos para dos muestras emparejadas en Excel; elaboración propia, 2015.*

Teniendo en cuenta los análisis estadísticos realizado mediante la prueba t-Student se observa que el estadístico t para los tres ensayos, aunque no tienen el mismo valor, están comprendidos en el rango de -4,30265273 y 4,30265273, lo cual significa que se encuentra dentro de la región de aceptación de la hipótesis nula. Por tanto, y dado que la hipótesis nula establecía que la diferencia de medias era igual a 0, podemos concluir que no existe evidencia en contra de que las medias de las dos muestras sean iguales, o lo que es lo mismo, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas y las diferencias que se aprecian parecen estar provocadas por efectos del azar.

#### **4. CONCLUSIONES**

En el desarrollo de este proyecto de investigación se aplicaron conceptos referentes a las áreas básicas de ingeniería e ingeniería aplicada, para diseñar y construir todos los elementos del prototipo de la máquina. Las principales conclusiones son las siguientes:

- ❖ En la validación del prototipo se realizó la comparación de los datos y se demostró que arroja datos confiables con un porcentaje de error menor al 2%, y se determinó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre la máquina construida y la máquina universal de ensayos estandarizada usada como patrón.
- ❖ El costo de la máquina construida es de aproximadamente 30 millones de pesos, valor que corresponde al 7% del valor de un equipo comercial, aunque no cuenta con la misma tecnología es de gran utilidad para fines académicos y permite obtener datos confiables.
- ❖ Actualmente el prototipo de la máquina universal de ensayos se encuentra disponible para cumplir con sus funciones y prestar el servicio a la comunidad académica.

## **5. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones para la mejora de este proyecto se mencionan a continuación:

- ❖ Construir otro tipo de mordazas tanto para materiales no metálicos (madera, polímeros) y ferrosos con alto porcentaje de carbono.
- ❖ Instalar una válvula reguladora de caudal automatizada, con el fin de tener un mejor control de la velocidad para los ensayos.
- ❖ Desarrollar una mejora encaminada al registro de datos de manera automática.

## BIBLIOGRAFÍA

- ◆ ASTM. (2008). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials E8*. Estados Unidos.
- ◆ ASTM. (2009). *Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature E9*. Estados Unidos.
- ◆ ASTM. (2009). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber D-143*. Estados Unidos.
- ◆ Bálleen Briceño, J. D. (2008). *Diseño y construcción del marco de una máquina de pruebas biomecánicas dinámicas*. Cali-Colombia.
- ◆ Beer, F., Russell, J., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2012). *Mecánica de materiales*. McGrawHill.
- ◆ Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*. Mexico D.F: McGraw-Hill.
- ◆ Callister, W. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales I*. Barcelona-España: Reverté.
- ◆ Castaño Posada, A., & Moreno Ramirez, H. D. (05 de Agosto de 2004). *DISEÑO DE MÁQUINAS*. Medellín, Colombia.
- ◆ Exner, H., Freitag, R., Geis, H., Lang, R., Oppolzer, J., Schwab, P., Reik, M. (1991). *Fundamentos y componentes de la olehidráulica*. Mannesmann Rexroth AG.
- ◆ FERJOVI. (2014). Catálogo de Cilndros Hidráulicos.
- ◆ Gallego Botero, P. A., & Claros Claros, R. F. (2007). *Diseño Mecánico De Una Máquina Universal De Ensayos Para Polímeros* . Pereira-Risaralda.
- ◆ Gisbert Soler, V., Pérez Bernabéu, E., & Cebrián Aznar, I. (2012). *CALIBRACIÓN DE EQUIPOS EN BASE A TÉCNICAS ESTADÍSTICAS. CREACIÓN DE PATRONES*. Ciencias, 21.
- ◆ Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Prentice-Hall.
- ◆ Lessmann, J., & Puentes, L. (2007). *Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un dispositivo para realizar ensayos de tracción uniaxial a temperaturas moderadas*. Caracas-Venezuela.

- ♦ Mazzini Lindao, R. A., & Florez Marín, R. D. (2011). *Construcción y prueba de Máquina universal de ensayos de 30 TON*. Guayaquil-Ecuador.
- ♦ Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Pearson Educación: México.
- ♦ OTERO. (2015). Catálogo de Aceros. Obtenido de [http://www.acerosotero.cl/planchas\\_acero\\_carbono\\_astm\\_a36.html](http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html)
- ♦ ROQUET, P. (2000). Catálogo de Componentes oleo-dinamicos ROQUET. *Bombas de engranes serie LO*.
- ♦ Sierra, M., & Jiménez, J. (14 de 03 de 2014). Clasificación Basica de los ensayos.
- ♦ STARK, H. (2015). *ROEMHELT*. Catálogo de Válvulas Hidráulicas. Obtenido de <http://www.roemheld.com/ES/roemheld.aspx?cmd=IMAGES&csid=99>
- ♦ Vergara Camacho, F., & Martinez Cervantes, N. J. (2008). *Apuntes de ciencia de los materiales II*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/carlosaguilar123/ciencia-materiales-ii>
- ♦ Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. México: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.



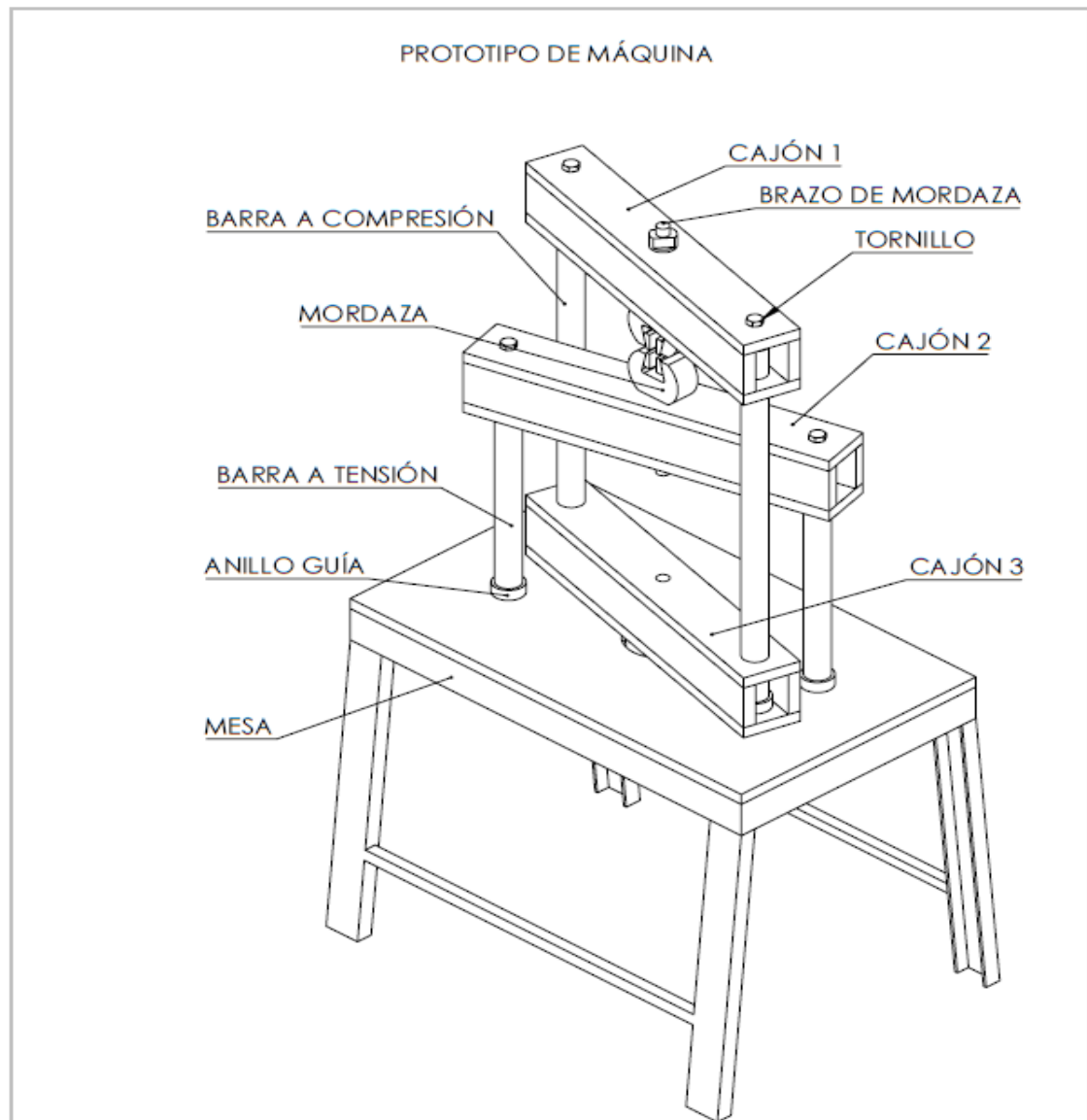
# ANEXOS

---

## ANEXO A - IMÁGENES PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

---

### A1-PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

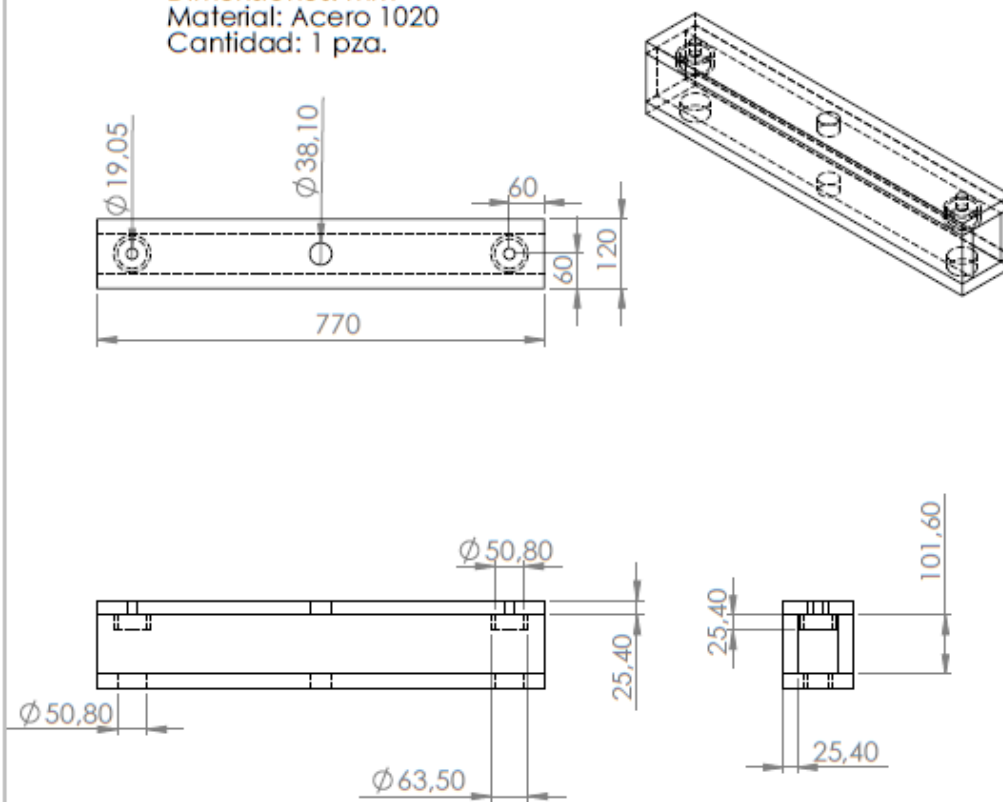


**Figura 36. Prototipo máquina universal de ensayos.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

PLANO Nº 4 CAJÓN 1

Dimensiones: mm  
Material: Acero 1020  
Cantidad: 1 pza.

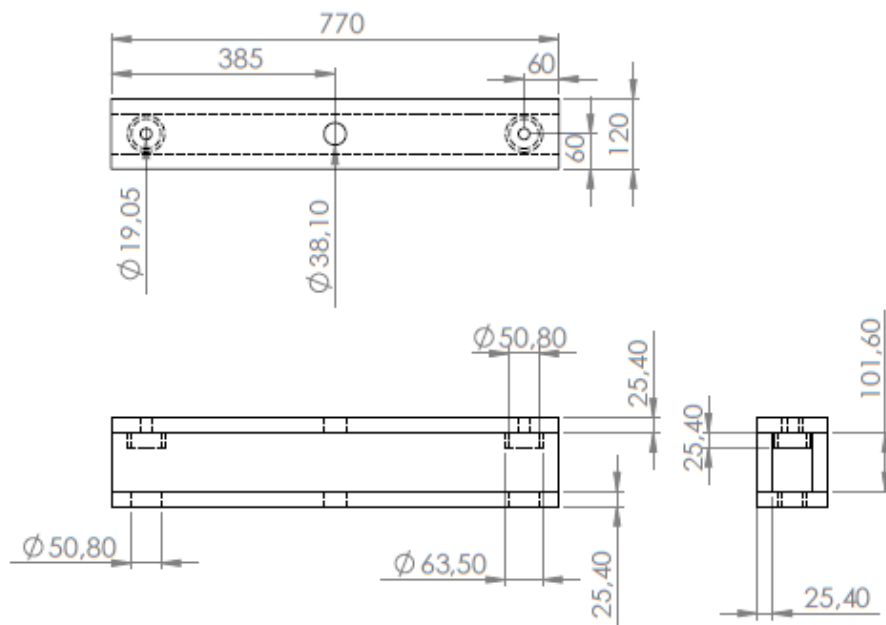
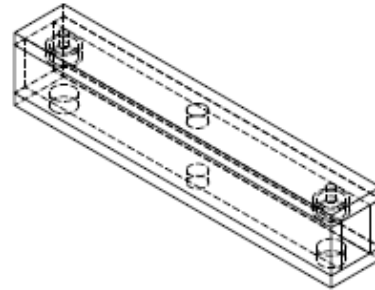


**Figura 37. Plano cajón 1.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

# PLANO N°7 CAJÓN 2

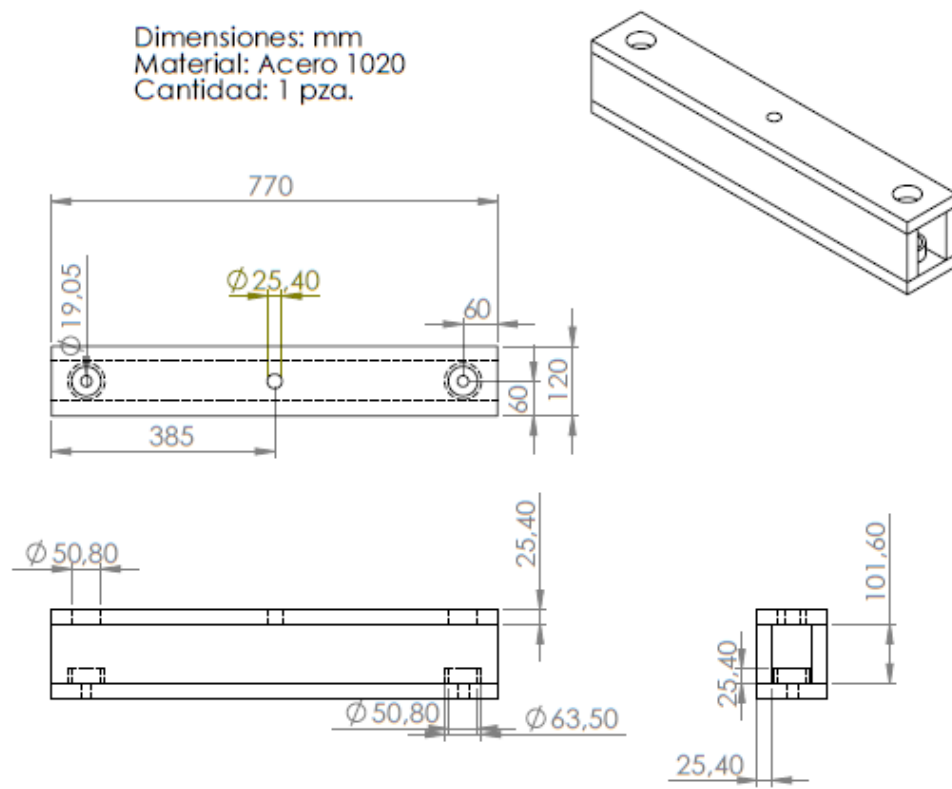
Dimensiones: mm  
Material: Acero 1020  
Cantidad: 1 pza.



**Figura 38. Plano cajón 2.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

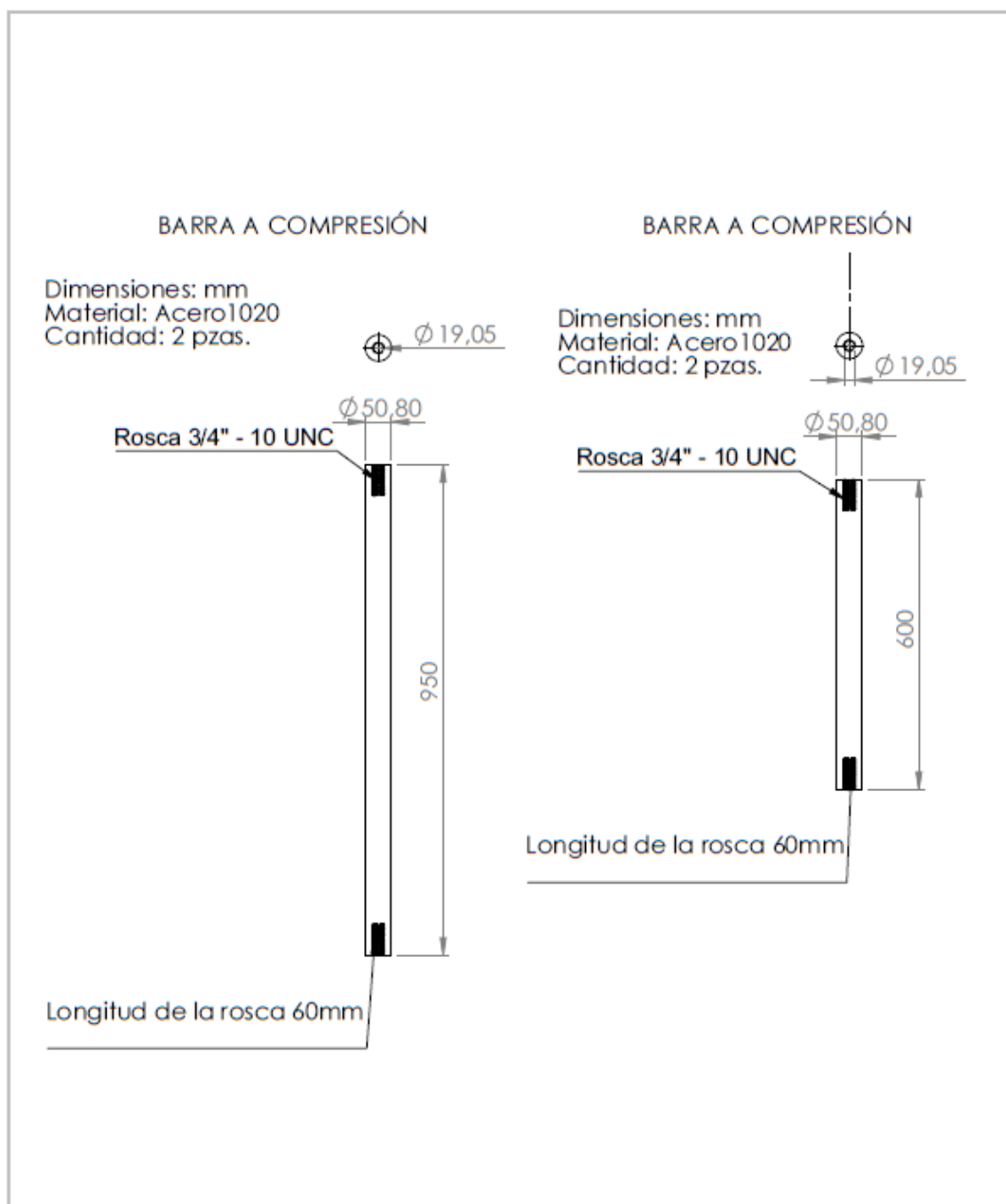
### CAJÓN 3

Dimensiones: mm  
Material: Acero 1020  
Cantidad: 1 pza.

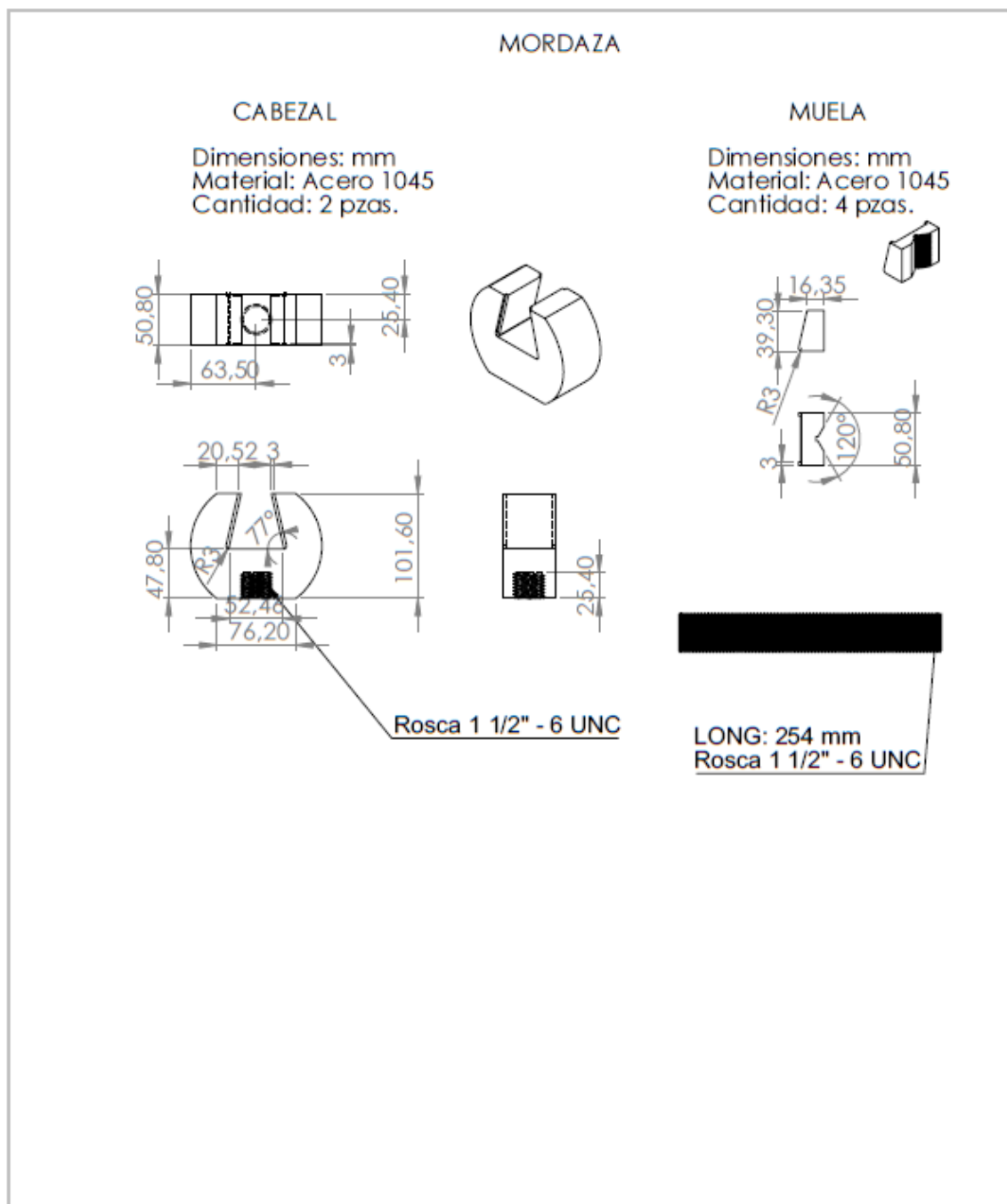


**Figura 39. Plano cajón 3.**

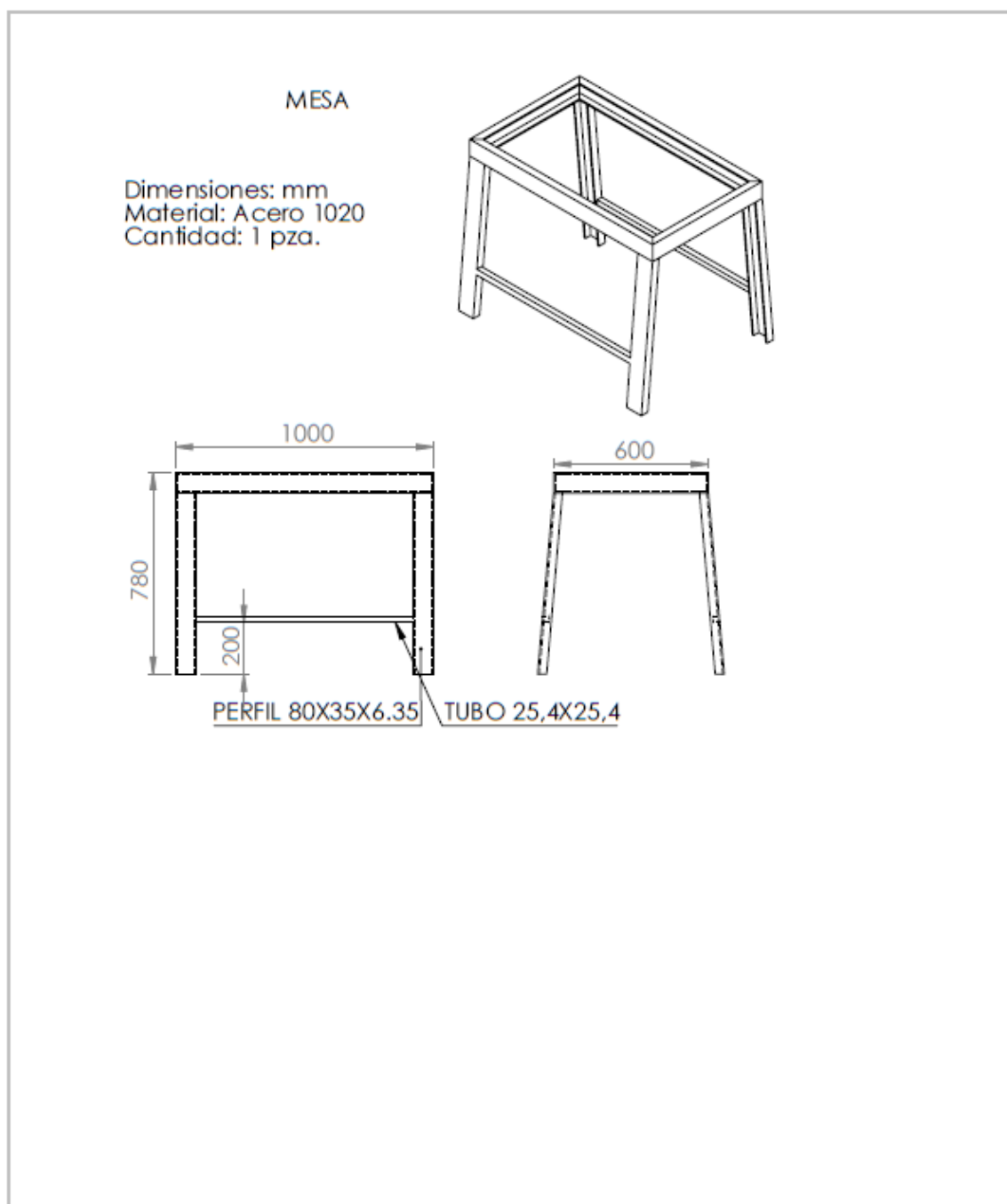
*Tomada de: elaboración propia, 2015.*



**Figura 40. Plano barras fijas y móviles.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

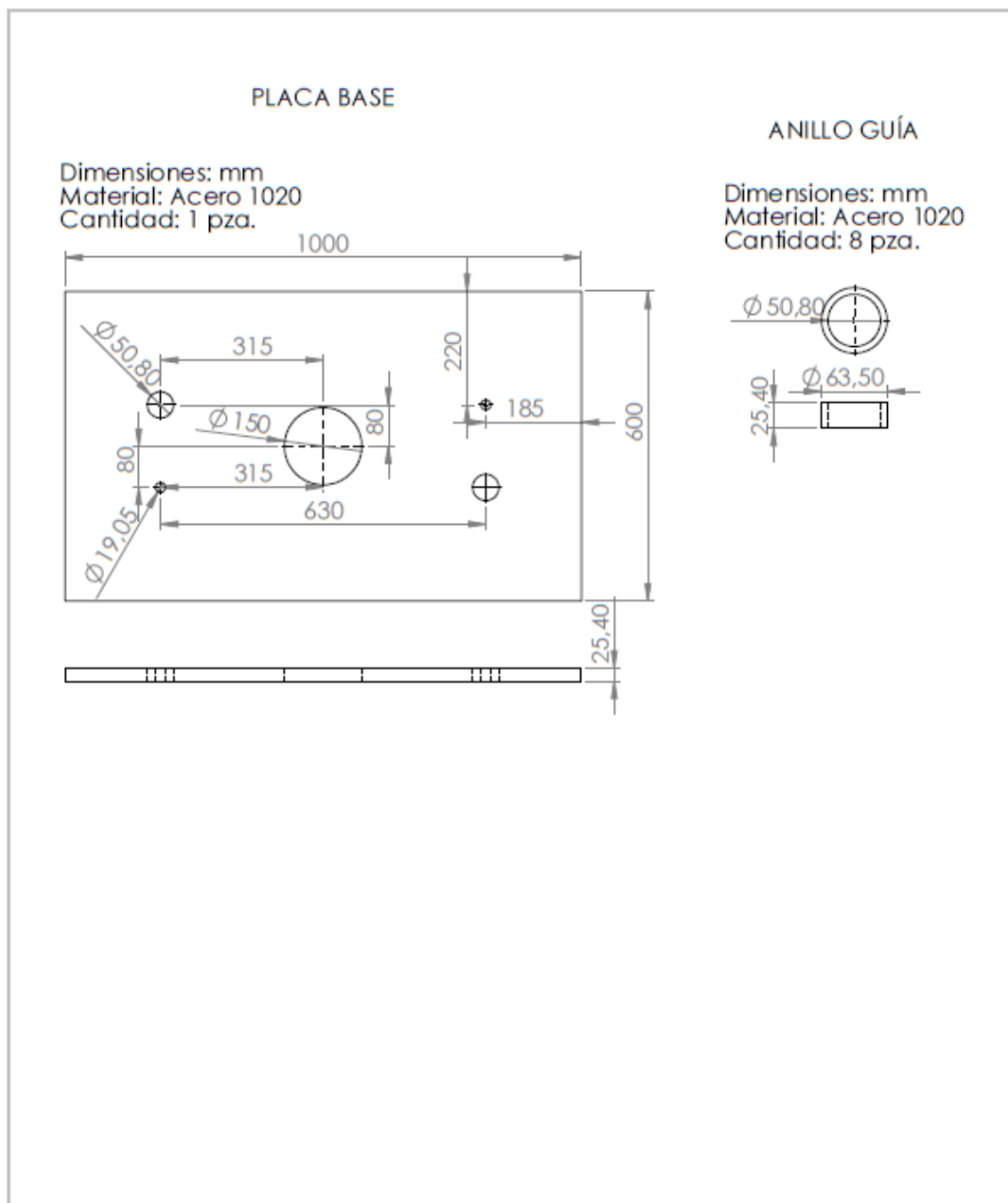


**Figura 41. Plano mordazas para el ensayo de tensión.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015.*



**Figura 42. Plano mesa.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015.*





**Figura 43. Plano placa de la mesa.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

---

## ANEXO B-VALIDACIÓN DEL PROTÓTIPO

---

### B1- PROBETAS PARA ENSAYOS DE TENSIÓN, COMPRESIÓN Y FLEXIÓN A TRES PUNTOS



**Figura 44. Probetas estándar para el ensayo de tensión, Norma ASTM E8.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*



**Figura 45. Probetas estándar para el ensayo de compresión, Norma ASTM E9.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*



**Figura 46. Probetas estándar para el ensayo de flexión a tres puntos, Norma ASTM D143.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

## **B2- ENSAYO DE Tensión MÁQUINA PATRÓN**



**Figura 47. Ensayo de tensión en la máquina patrón.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

Symbol	Max-Stress	YS1-Stress	YS2-Stress	Elastic Fitted
Dimension	psi	psi	psi	%
Aluminio	32216.3	---	---	16.3788 64.0000
Specimen	1			
OriginalGL	50.095	mm	Extenso. GL	0 mm
Ex. Diameter	12 mm			
Area	113.0973	mm2		

**Figura 48. Resultado ensayo de tensión probeta 1.**

*Tomada de: Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia.*

Symbol	Max-Stress	YS1-Stress	YS2-Stress	Elastic Fitted
Dimension	psi	psi	psi	%
Aluminio 2	31822.5	---	---	25.8364 68.1321
Specimen	1			
OriginalGL	50.065	mm	Extenso. GL	0 mm
Ex. Diameter	12.4 mm			
Area	120.7628	mm2		

**Figura 49. Resultado ensayo de tensión probeta 2.**

*Tomada de: Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia.*

Symbol	Max-Stress	YS1-Stress	YS2-Stress	Elastic Fitted
Dimension	psi	psi	psi	%
Aluminio-3	32122.7	---	---	14.8392 68.1321
Specimen	1			
OriginalGL	50.07	mm	Extenso. GL	0 mm
Ex. Diameter	12.4 mm			
Area	120.7628	mm2		

**Figura 50. Resultado ensayo de tensión probeta 3.**

*Tomada de: Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia.*

### B3- ENSAYO DE TENSIÓN PROTOTIPO CONSTRUIDO



**Figura 51. Ensayo de tensión prototipo máquina universal de ensayos de la Universidad de Córdoba.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

**Tabla 10. Resultado ensayo de tensión (prototipo).**

Probeta	Presión inicial (Bares)	Presión final (Bares)	Presión última (Bares)	Diametro (mm)	Fuerza (KN)	Área Seccion transversal de la probeta (m <sup>2</sup> )	Esfuerzo Último (MPa)	Esfuerzo Último (PSI)
1	6,00	26,00	20,00	12,00	25,34	0,00011310	224,01	32490,54
2	6,00	27,00	21,00	12,40	26,60	0,00012076	220,28	31949,59
3	6,00	27,50	21,50	12,40	27,24	0,00012076	225,53	32710,29

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

### B4-ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO A TENSIÓN

**Tabla 11. Datos de esfuerzo último (MPa) en las dos máquinas.**

MÁQUINA PATRÓN	MÁQUINA CONSTRUIDA
222,12	224,01
219,41	220,28
221,48	225,53

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

## B5-ENSAYO DE COMPRESIÓN MÁQUINA PATRÓN



**Figura 52. Ensayo de compresión en la máquina patrón.**  
*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

Symbol	Max-Load	Max-Stress	YS1-Stress
Dimension	kN	MPa	MPa
Probeta 1	36.2500	295.391	---
Specimen	1		
OriginalGL	38.8 mm	Extenso.GL	0 mm
Ex.Diameter	12.5 mm		
Area	122.7185 mm <sup>2</sup>		

**Figura 53. Ensayo de compresión en la probeta 1.**  
*Tomada de: Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia.*

Symbol	Max-Load	Max-Stress	YS1-Stress
Dimension	kN	MPa	MPa
Probeta 2	36.7750	294.931	---
Specimen	1		
OriginalGL	38.8 mm	Extenso.GL	0 mm
Ex.Diameter	12.6 mm		
Area	124.6898 mm <sup>2</sup>		

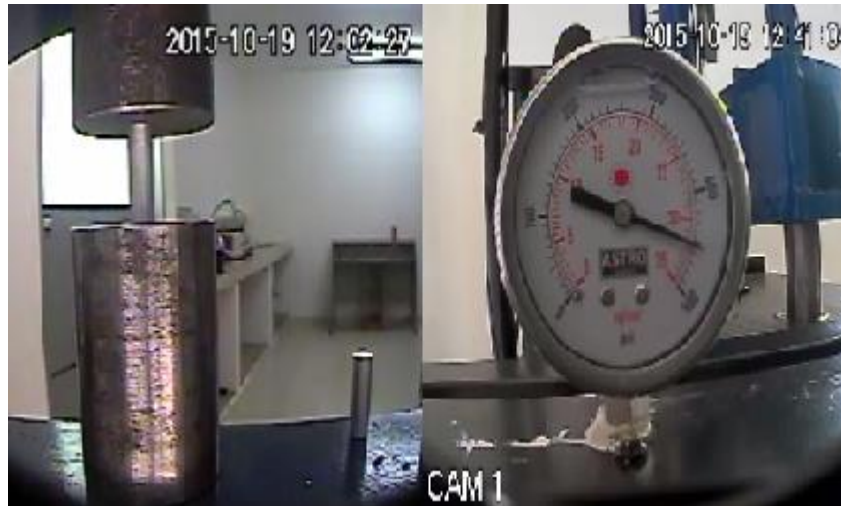
**Figura 54. Ensayo de compresión en la probeta 2.**  
*Tomada de: Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia.*

Symbol	Max-Load	Max-Stress	YS1-Stress
Dimension	kN	MPa	MPa
Probeta 3	36.3375	296.104	---
Specimen	1		
OriginalGL	38.8 mm	Extenso.GL	0 mm
Ex.Diameter	12.5 mm		
Area	122.7185 mm <sup>2</sup>		

**Figura 55. Ensayo de compresión en la probeta 3.**  
*Tomada de: Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia.*



## B6- ENSAYO DE COMPRESIÓN PROTOTIPO CONSTRUIDO



**Figura 56. Ensayo de compresión prototipo máquina universal de ensayos de la Universidad de Córdoba.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

**Tabla 12. Resultado ensayo de compresión (prototipo).**

Probeta	Presión inicial (Bares)	Presión final (Bares)	Presión última (Bares)	Diametro (mm)	Fuerza (KN)	Área Seccion transversal de la probeta (m <sup>2</sup> )	Esfuerzo Último (MPa)
1	6,00	35,00	29,00	12,50	36,74	0,00012272	299,35
2	6,00	35,00	29,00	12,60	36,74	0,00012469	294,62
3	6,00	35,00	29,00	12,50	36,74	0,00012272	299,35

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

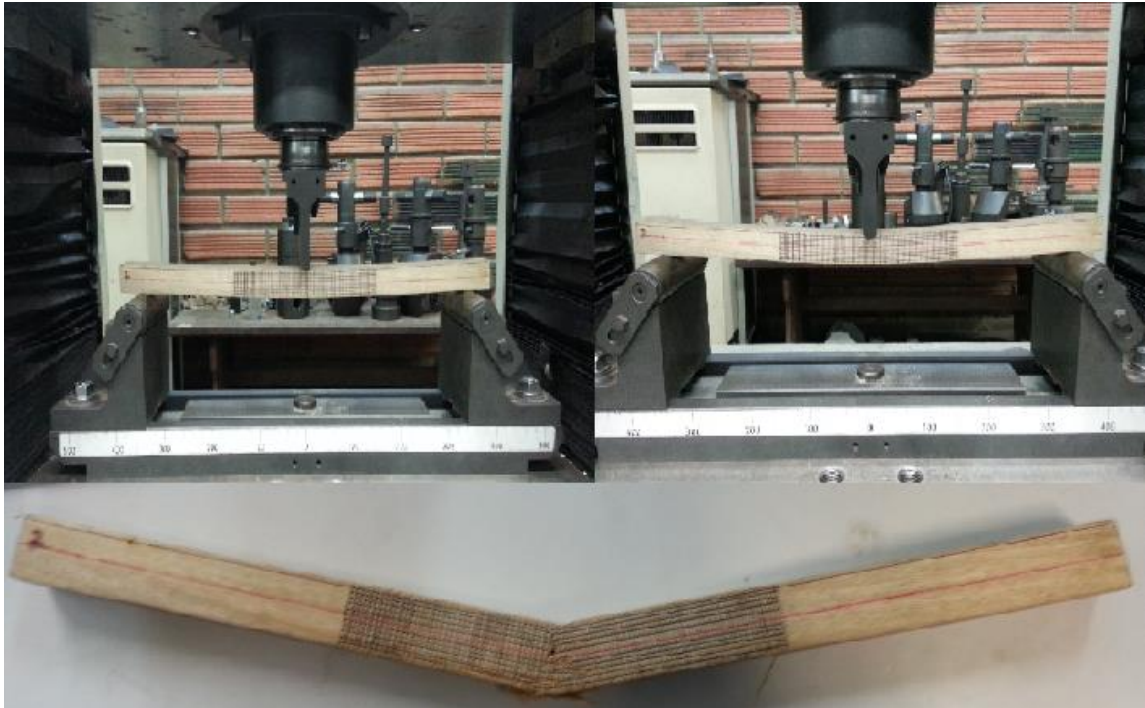
## B7- ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN

**Tabla 13. Datos de esfuerzo último (MPa) en las dos máquinas.**

MÁQUINA PATRÓN	MÁQUINA CONSTRUIDA
295,39	299,35
294,93	294,62
296,1	299,35

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

## B8-ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS MÁQUINA PATRÓN



**Figura 57. Ensayo de flexión a tres puntos en la máquina patrón.**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

Symbol	Max-Stress	YS1-Stress	YS2-Stress	Elastic Max-Lo
Dimension	MPa	MPa	MPa	mm
Probeta 2	69.7028	---	---	1.96875
Specimen	1			
OriginalGL	360	mm	Extensio. GL	0 mm
width	25	mm	Thickness	24.7 mm
Area	617.5	mm2		

**Figura 58. Resultado ensayo de flexión a tres puntos.**

*Tomada de: Máquina universal de ensayos de la Universidad de Antioquia.*



## B9- ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS PROTOTIPO CONSTRUIDO



**Figura 59. Ensayo de flexión a tres puntos prototipo máquina universal de ensayos de la Universidad de Córdoba**

*Tomada de: elaboración propia, 2015. Registro fotográfico.*

**Tabla 14. Resultado ensayo de flexión a tres puntos (prototipo).**

Probeta	Presión inicial (Bares)	Presión final (Bares)	Presión última (Bares)	Fuerza (KN)	Base (mm)	Altura (mm)	Momento de inercia (m <sup>4</sup> )	Momento maximo (N*m)
1	6,00	7,50	1,50	1,93	25,00	24,70	0,00000003	173,70

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

## B10- ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS

**Tabla 15. Datos de esfuerzo último (MPa) en las dos máquinas.**

MÁQUINA PATRÓN	MÁQUINA CONSTRUIDA
69,7	68,92
70,09	69,87
69,96	69,21

*Tomada de: elaboración propia, 2015.*

---

ANEXO C- GUIA DE USO Y MANTENIMIENTO

---

# GUÍA DE USO Y MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS



EDINSON DE JESÚS HERRERA DE ORO

NICOLÁS EDUARDO OTERO VÉLEZ

[edinson8020@hotmail.com](mailto:edinson8020@hotmail.com)/[nicolasotero30@hotmail.com](mailto:nicolasotero30@hotmail.com)

INGENIERÍA MECÁNICA

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

2015

## PROCEDIMIENTO DE USO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS.

1. Asegurarse, antes de poner en marcha el equipo, que la válvula de paso este completamente abierta.



2. Poner en marcha el equipo activando el botón ON.



3. Cerrar la válvula de paso.



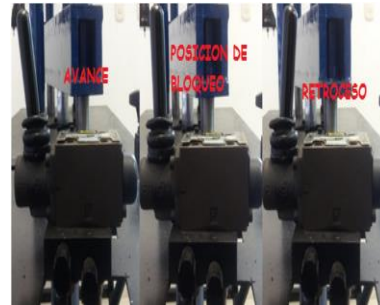
4. Verificar que el manómetro de presión del sistema se encuentre marcando la presión que suministra la bomba hidráulica.



5. Verificar que la válvula reguladora de caudal este completamente abierta.



6. Por medio de la válvula direccional se realiza el avance y retroceso del cilindro hidráulico que a su vez mueve la estructura móvil, con el fin de realizar los montajes correspondientes a cada tipo de ensayo.



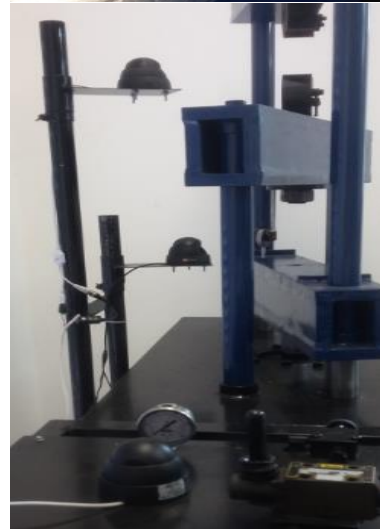
7. Dirigirse a la válvula reguladora de caudal y obtener la velocidad requerida teniendo en cuenta el ensayo a realizar.



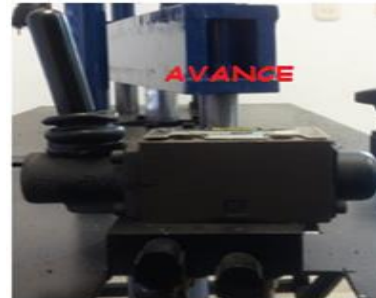
8. Ubicar el comparador de caratulas para la medición de la deformación.



9. Verificar que el sistema de video este enfocando el manómetro, el comparador de caratulas y el ensayo a realizar; dar inicio a la grabación.



10. Accionar la válvula direccional en la posición de avance para dar inicio al ensayo.



11. Una vez terminado el ensayo se pone en posición de bloqueo la válvula direccional, se detiene la grabación, se retira la probeta ensayada y el accesorio utilizado para el ensayo.



12. Se abre la válvula de paso.



13. Se apaga el sistema hidráulico oprimiendo el botón OFF.



## **GUÍA DE MANTENIMIENTO**

### **Medidas Diarias Preventivas**

Para mantener el prototipo de la máquina operando con un buen desempeño, considere adoptar la siguiente lista de verificación diaria de mantenimiento:

1. Siempre que vaya a utilizar la máquina compruebe todas las conexiones hidráulica (mangueras, cilindro y válvulas de mando hidráulico), elimine las fugas si las hay.
  2. Cuando se requiera hacer uso de la máquina, verifique que las barras guías estén lubricadas, en caso contrario, lubríquelas.
- ❖ Nivel de aceite. De ser necesario, agréguelo.
  - ❖ Verificar la temperatura del aceite en cada ensayo.
  - ❖ Limpieza. Asegúrese de que el área de trabajo esté limpia.

### **Medidas mensuales preventivas**

- ❖ Aceite; Mantener el aceite del prototipo en una condición nueva es una manera simple de extender su vida. Bajos niveles de aceite y un aceite sucio reducen rápidamente la vida del equipo.
- ❖ Apretar los tornillos de fijación de la estructura, como precaución.
- ❖ Verificar el estado de los accesorios hidráulicos.

Llevar a cabo las anteriores medidas de mantenimiento preventivo con en el fin de obtener la máxima vida del prototipo.

---

**ANEXO D- FICHA TÉCNICA DEL PROTOTIPO**

---

# **FICHA TÉCNICA DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS**



**EDINSON DE JESÚS HERRERA DE ORO**

**NICOLÁS EDUARDO OTERO VÉLEZ**

**[edinson8020@hotmail.com](mailto:edinson8020@hotmail.com)/[nicolasotero30@hotmail.com](mailto:nicolasotero30@hotmail.com)**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**2015**



### PROTOTIPO DE MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

#### Características técnicas:

- Máquina doble espacio con accionamiento hidráulico
- Fuerza máxima: 100 kN
- Carrera del pistón: 300 mm
- Distancia máxima entre cabezales de tracción (carrera del pistón incluida): 440 mm
- Máxima apertura de las placas de compresión: 300 mm
- Máxima apertura de los apoyos de flexión: 500 mm
- Mordazas de tracción mecánicas
- Instrumento de medición de presión para determinar carga: manómetro de glicerina (0-50 Bares).
- Instrumento de medición de la deformación: comparador de carátula.
- Captación de la información para procesamiento de datos: sistema de video conformado por monitor, dispositivo de almacenamiento y tres cámaras, una para enfocar ensayo realizado, otra para el comparador de carátula y para el manómetro de presión de trabajo.
- Equipada con accesorios para ensayos de rutina
- Alimentación eléctrica: 110 V, 60 Hz
- Motor eléctrico: 745,7 Watts, 1500 rpm.
- Bomba hidráulica: 175 bares a 1500 rpm.
- velocidad para los ensayos: 1 mm/min hasta 10 mm/min

#### Dimensiones:

- Máquina: 1000 x 600 x 1800 (h) mm peso 500 kg.
- Mesa de Control hidráulico: 800 x 600 x 900 (h) mm





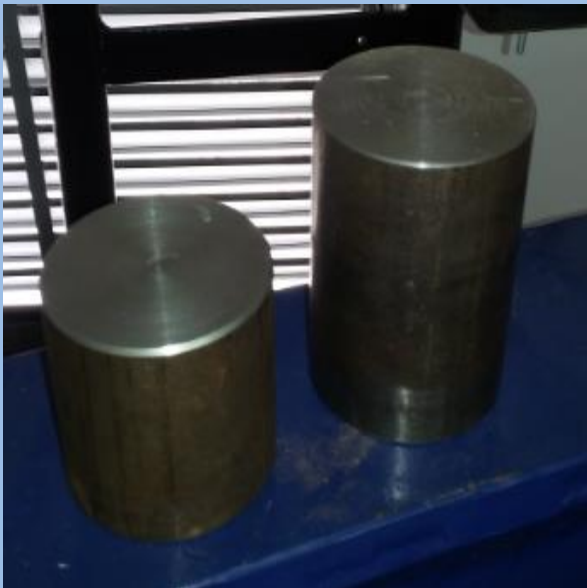
### PROTOTIPO DE MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

**ALTURA MÁXIMA CON PISTÓN EXTRAÍDO:**

**2126 mm**

**Equipamiento:**

- Mordazas para redondos: para diámetros 12.5- 19,05 mm)
- Placas de compresión: una de 76.2 mm de diámetro x 101.6 mm y otra de 76.2 mm de diámetro x 76.2 mm
- Dispositivos de flexión: 2 patines con apoyo, 1 soporte de carga articulado
- llaves tipo L para tornillos de 1/4"



## TABLA DE FUERZAS

DIÁMETRO DEL PISTÓN DEL CILINDRO (M)	ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PISTÓN (M <sup>2</sup> )	FUERZA
0,127	0,012668	$F = P * A$

1 BAR=100 KPa		
PRESIÓN DE TRABAJO (BARES)	PRESIÓN DE TRABAJO (KPa)	FUERZA (KN)
1	100	1,27
5	500	6,33
10	1000	12,67
15	1500	19,00
20	2000	25,34
25	2500	31,67
30	3000	38,00
35	3500	44,34
40	4000	50,67
45	4500	57,00
50	5000	63,34
55	5500	69,67
60	6000	76,01
65	6500	82,34
70	7000	88,67
75	7500	95,01
80	8000	101,34
85	8500	107,68
90	9000	114,01
95	9500	120,34
100	10000	126,68